



# ***Escherichia coli* Ekspresyon Plazmiti pTolT'nin Nokta Mutasyonu Yöntemiyle Moleküler Modifikasyonu**

Yakup Ulusu<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, Karaman, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8755-2822)

(İlk Geliş Tarihi 21 Ağustos 2019 ve Kabul Tarihi 27 Eylül 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.608637)

**ATIF/REFERENCE:** Ulusu, Y. (2019). *Escherichia coli* Ekspresyon Plazmiti pTolT'nin Nokta Mutasyonu Yöntemiyle Moleküler Modifikasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1-8.

## **Öz**

Bakteriler rekombinant protein üretimi için kolay kültür edilmeleri, basit yapıları ve genetik manipülasyonlara açık olmaları nedeniyle en çok tercih edilen konakçılardandır. Özellikle *Escherichia coli* en yaygın olarak kullanılan prokaryotik konakçı olarak pek çok araştırmada karşımıza çıkmaktadır. Tüm bu avantajlarının yanında, yabancı proteinlerin yüksek miktardaki üretimleri, *Escherichia coli*'de inklüzyon cisimciklerinin oluşmasına veya toksik etkilere neden olabilmektedir. Bu problemlerin aşılması amacıyla geliştirilen pTolT ekspresyon vektörü heterolog proteinlerin *Escherichia coli* periplazmik bölge proteini TolAIII ile birlikte üretilmesine imkân sağlamaktadır. Bununla birlikte TolAIII proteininde 31 ve 56. pozisyonda bulunan sisteinler bu sistemle üretilen diğer proteinler ile istenmeyen disülfid köprüleri kurarak rekombinant proteinin aktivitesi üzerine etki etmektedir. Bu çalışmanın amacı TolAIII proteininde bulunan sisteinlerin kaldırılarak yerine serin amino asitlerinin getirilmesidir. In vitro nokta mutasyonu tekniği, gen klonlama ve ekspresyon stratejilerinin düzenlenmesi amacıyla vektör DNA dizilerinin modifiye edilmesinde, protein yapı ve fonksiyon çalışmalarında ve genetik araştırmalarda sıklıkla kullanılan gelişmiş bir tekniktir. Bu teknikte mutajenik primerler vasıtasıyla polimeraz zincir reaksiyonu (PZR) işlemi ile kalıp plazmid DNA'nın birçok yeni kopyasını meydana getirilir. Sunulan çalışmada QuikChange site-directed mutagenesis metoduyla TolAIII gen dizisinde C31S ve C56S mutasyonları gerçekleştirilmiştir. DNA sekans analizi sonuçları ile teyit edilen mutasyonun ardından elde edilen yeni plazmid pTolT Delta olarak adlandırılmıştır. Böylece bu çalışma ile geliştirilen yeni ekspresyon sistemi ile üretilcek rekombinant proteinlerin doğal üç boyutlu konformasyonlarını kazanmaları daha kolay olacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** pTolT, Nokta Mutasyonu, *Escherichia coli*, Rekombinant Protein

## **Molecular Modification of *Escherichia coli* Expression Plasmid pTolT by Point Mutation Method**

### **Abstract**

Bacteria are among the most preferred hosts for their easy culture conditions, simple structure and allowing genetic manipulations for recombinant protein production. *Escherichia coli* is the most widely used prokaryotic host in many studies. In addition to all these advantages, the high amount production of foreign proteins can cause inclusion bodies or toxic effects in *Escherichia coli*. The pTolT expression vector developed to overcome these problems allows the production of heterologous proteins with the *Escherichia coli* periplasmic region protein TolAIII. However, cysteines in positions 31 and 56 of the TolAIII influence the activity of the recombinant protein via unwanted disulfide bridges with other proteins produced by this system. The aim of this study was to remove cysteines in TolAIII protein and replace serine amino acids. The in vitro point mutation technique is an advanced technique that is frequently used for modifying vector DNA sequences, protein structure and function studies, and genetic research to regulate gene cloning and expression strategies. In this technique, polymerase chain reaction (PCR) by mutagenic primers produces many new copies of the template plasmid DNA. In the present study, C31S and C56S mutations in the TolAIII gene sequence have been performed by

\* Sorumlu Yazar: Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0002-8755-2822, yakupulusu@kmu.edu.tr

QuikChange site-directed mutagenesis method. Following the mutation confirmed by DNA sequence analysis results, the obtained new plasmid was called pToIT Delta. Thus, it will be easier for the recombinant proteins to be produced with the new expression system developed by this study to acquire their natural three-dimensional conformation.

**Keywords:** pToIT, Point Mutation, Escherichia coli, Recombinant Protein

## 1. Giriş

Son yıllarda proteinler farmakolojik ürünlerin ve pek çok endüstriyel prosesin ayrılmaz birer parçası haline gelmişlerdir. Günümüzde endüstriyel olarak kullanılan çoğu enzimden; terapötik olarak kullanılan peptidlere kadar pek çok protein yapısında disülfid bağlarını içermektedir. Bu disülfid bağlarının oluşumu özellikle heterolog ekspresyon sistemlerinde protein katlanmalarını etkileyebilmektedir. Bazı durumlarda protein mühendisliği uygulamalarıyla disülfid bağları oluşturan sistein gibi amino asitler yapıya eklenerek yeni disülfid köprüleriyle protein stabilitesi ve aktivitesi değiştirilebileceği gibi; bu amino asitlerin başkalarıyla değiştirilmesi yoluyla da var olan sistin köprüleri ortadan kaldırılarak proteinin üç boyutlu konformasyonu farklılaştırılabilir. Özellikle hücre dışı ortamda fonksiyonunu gösteren enzimler, büyüme faktörleri, hormonlar ve toksinler gibi ekstraselüler proteinler hücre dışı ortam şartlarına daha iyi adapte olabilmek, denatürasyon ve proteolitik degregasyondan korunabilmek adına genellikle daha fazla disülfid bağı ve glikolizasyon bölgesi içerirler. Disülfid bağları özellikle 3 boyutlu yapıyı stabilize ederek termodinamik açıdan proteini daha kararlı bir yapıda tutar. Bu dayanıklılık aslında pratik uygulamalarda; yüksek sıcaklık, yüksek asidik veya bazik ortam, yüksek konsantrasyondaki organik çözücüler gibi ekstrem çevresel şartlara daha iyi dayanım anlamına gelebildiği gibi; aynı zamanda terapötik proteinlerin raf ömrünün uzun olmasında da etkilidir (Mansfeld ve ark., 1997). Disülfid köprülerinin, özellikle heterolog ekspresyon sistemlerinde kimerik olarak üretilen rekombinant proteinlerin birbirleri arasında oluşması durumunda protein aktivitesini olumsuz etkilemesi veya saflaştırma sırasında özellikle afinite tag'larının kolon ile yeterince etkileşememesinden dolayı verim ve aktivite kayıplarına da yol açması sıklıkla karşılaşılan bir durumdur (Bulaj ve ark., 2005).

Rekombinant proteinlerin heterolog ekspresyon sistemlerinde yeterince saf ve fonksiyonel olarak üretilmeleri her zaman mümkün olmayabilmektedir. Üç boyutlu konformasyonunu kazanmış, aktif ve saf proteinlerin elde edilebilmesi için günümüzde çok sayıda farklı konakçı kullanılarak bu problemler aşılmaya çalışılmaktadır. 20 yılı aşkın süredir *Escherichia coli* (*E.coli*) heterolog protein ekspresyonu çalışmalarında üzerinde barındırdığı pek çok avantaj sayesinde en fazla tercih edilen konakçılardan birisi olmuştur. Bunlar arasında; uzun yıllardır çoğu bilimsel araştırmaya konu olması sayesinde bilim insanlarının *E. coli* protein ifade sistemleri hakkında ciddi bir tecrübeye sahip olması, kültürünün kolay ve düşük maliyetli bir şekilde gerçekleştirilebilmesi sayılabilir (Ulus ve ark., 2016).

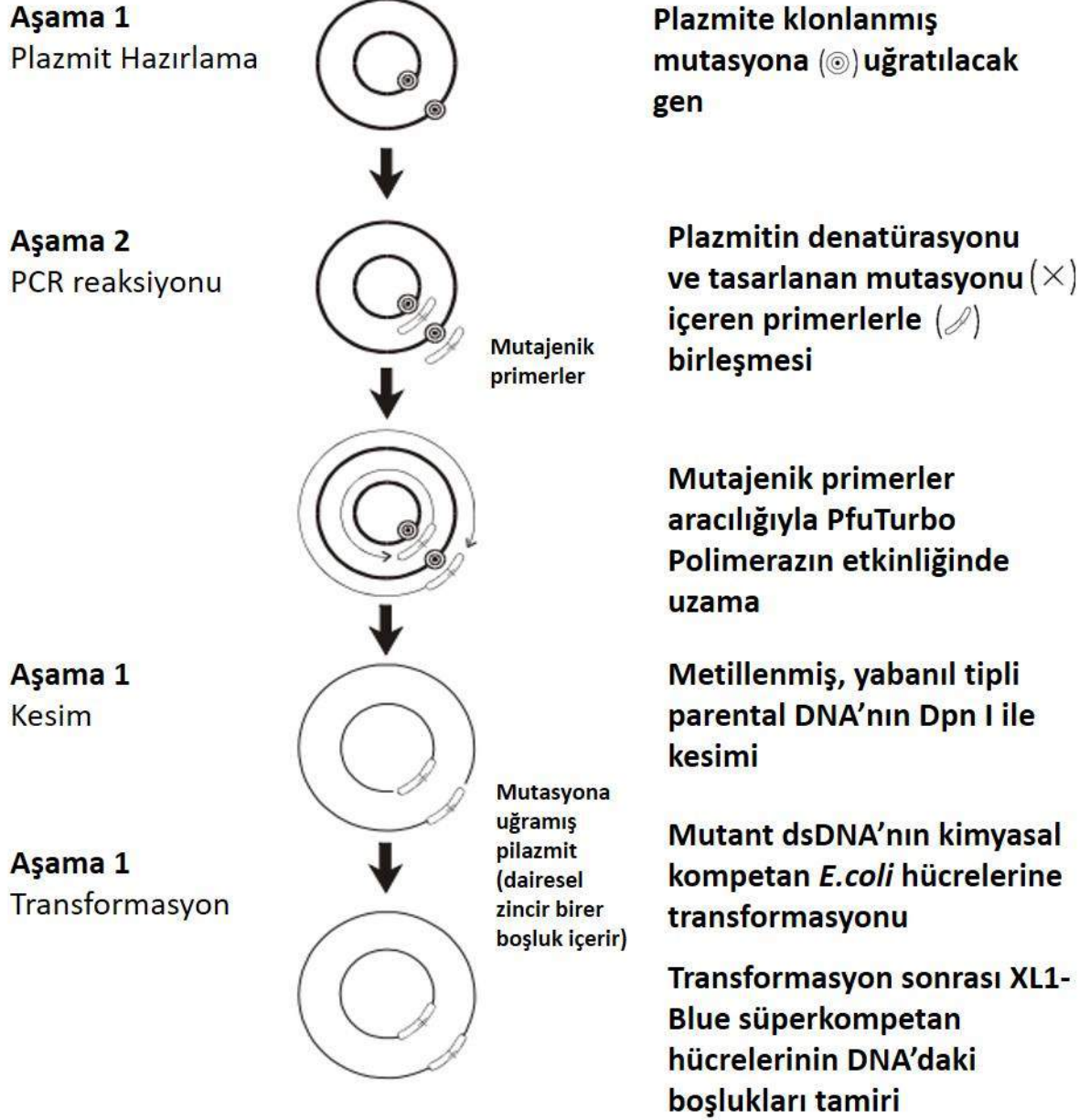
Rekombinant protein üretimi çalışmalarında ilgilenilen proteine ek olarak ilave edilen ve ortamdaki diğer proteinlere göre üretilen proteine farklı özellikler katan işaretleyiciler genel olarak protein tag'ları olarak bilinirler. *E.coli*'de proteinler direkt veya füzyon olarak ekspres edilebilir (LaVallie ve McCoy, 1995; Makrides, 1996). Füzyon olarak heterolog protein ifadesinin amaçları arasında; afinite tag'larının ilave edilmesi (His Tag, glutathione-S-transferase, cellulose binding domain gibi), proteinleri daha çözünebilir hale getirme (thioredoxin), disülfid bağlarının oluşumu (thioredoxin) veya üretilen proteinlerin periplazma bölgesine yönlendirilmesi gibi amaçlarla yapılmaktadır (Crowe ve ark., 1994; Derman ve ark., 1993; Stewart ve ark., 1998). Bir proteinin füzyon partneri olarak kullanılabilmesi için küçük boyutlu olması ve özellikle *E.coli*'de üretiminin önemli miktarda olması gerekir.

TolA, *E.coli*'de iç zarın bütünlüğünün korunmasında ve kolisinler ile bakteriyofajların alımında rol oynayan periplazmik bir proteindir (Levengood ve ark., 1991; Lazzaroni ve ark., 1999). Üç farklı alt birimden oluşan TolA proteininin bir kısmı kısa N-terminal alt birim olarak adlandırılan kısımdır ve burası tek bir transmembran heliks kısmından oluşmaktadır. Bu bölge aynı zamanda TolA'yı iç membrana bağlayan kısım olarak bilinir. İkinci büyük alt birim ise, yoğunlukla polar amino asitlerden oluşur ve yapısal olarak  $\alpha$ -heliks şeklindedir. Üçüncü alt birim ise C-terminal alt birim (TolA-III) olarak adlandırılır ve diğerlerine göre daha küçük olan bu kısım 92 amino asitten oluşmaktadır (Lubkowski ve ark., 1999). *E.coli*'de heterolog proteinlerin ekspres edilmesi için geliştirilen pTol vektörü de TolA-III proteininin füzyon partneri olarak kullanıldığı bir plazmittir. Gerçekleştirilen çalışmalarda TolA-III ile birlikte üretilen proteinlerin *E.coli*'de üretilen tüm proteomun %20'sine kadar ulaşabildiği gösterilmiş ve litre hücre kültürü başına 50-90 mg kadar füzyon protein elde edilmiştir. *E.coli*'de rekombinant protein üretilmesinde kullanılan ve özellikle heterolog proteinleri periplazmik bölgeye yönlendirmesiyle inklüzyon cisimciklerinin oluşmasına engel olan; toksik proteinlerin üretilmesinde kullanılan pToIT ekspresyon plazmiti TolA-III proteini sayesinde geliştirilmiş bir plazmittir (Anderluh ve ark., 2003).

In vitro nokta mutasyonu tekniği, gen klonlama ve ekspresyon stratejilerinin düzenlenmesi amacıyla vektör DNA dizilerinin modifiye edilmesinde, protein yapı ve fonksiyon çalışmalarında ve genetik araştırmalarda sıklıkla kullanılan gelişmiş bir tekniktir. Bu teknikte mutajenik primerler vasıtasıyla polimeraz zincir reaksiyonu (PZR) işlemi ile kalıp plazmid DNA'nın birçok yeni kopyasını meydana getirilir. PZR ile bu yeni kopyaları meydana getirirken de bu sistemde Pfu DNA polimeraz enzimi istenilen yeni mutasyonları içeren yeni DNA dizilerini de bu kopyaların içerisine yerleştirir. Buradaki en önemli nokta mutasyonları içeren primerlerin dizaynıdır. Primerler istenilen mutasyonlar için minimum sayıda nükleotid değişikliği ile içermelidir. Her bir primer mutlaka çift ipçikteki karşı diziyeye eşlenik olmalıdır (mutasyonu içeren dizinin her iki tarafından 5'-3' da eşlenik olan yaklaşık 18-20 nükleotid mutlaka alınmalıdır). Primerlerin oluşturduğu dizi ona eşlenik dizi ile birleşirken uçlarda daha sonra tamir edilecek olan birer boşluk meydana gelir. PZR işlemi takiben elde edilen ürün Dpn I restriksiyon enzimi ile kesilir. Dpn I endonükleaz enzimi metillenmiş DNA ya

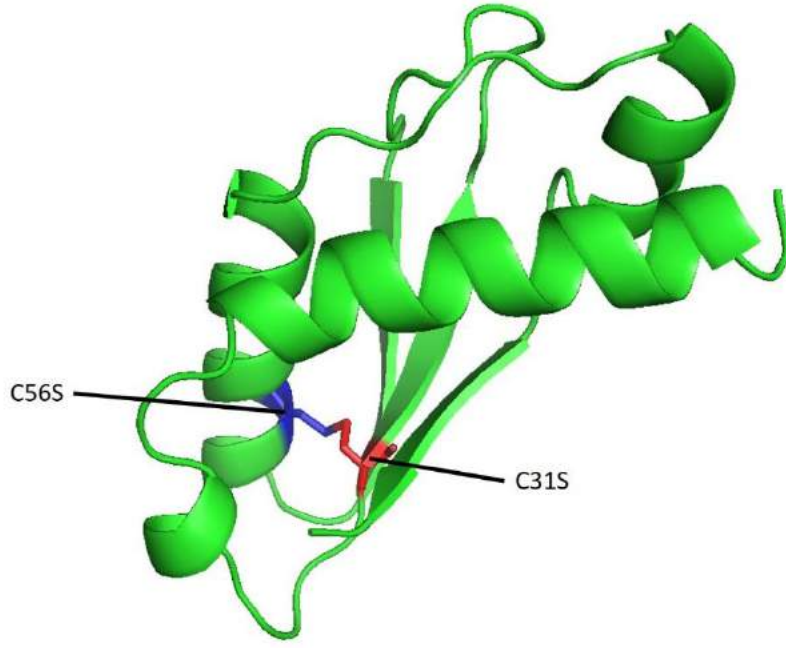


spesifiktir ve bu yüzden kesim esnasında ana kalıp DNA'yı (wild type) keserek yok eder ve geriye sadece PZR işlemi ile gerçekleştirilen metillenmemiş ve istenilen mutasyonu içeren plazmid DNA kalır (Şekil 1) (Agilent QuikChange Site-Directed Mutagenesis Kit Instruction Manual Catalog # 200518).



Şekil 1. QuikChange site-directed mutasyon işleminin özeti (Agilent QuikChange Site-Directed Mutagenesis Kit Instruction Manual Catalog # 200518)

Bu çalışma kapsamında da *E. coli* ekspresyon plazmidini pTolT vektörü QuikChange site-directed mutagenesis kiti kullanılarak modifiye edilmiş ve TolA-III proteininde bulunan iki Cys (C) rezidüsü Ser (S) ile değiştirilerek (C56S ve C31S mutasyonları) bu sistemle üretilen füzyon proteinin diğer partneri ile non-spesifik disülfid köprülerinin oluşmasının ve non-spesifik protein katlanmalarının önüne geçilmiştir (Şekil 2). Elde edilen yeni vektör pTolT Delta olarak adlandırılmıştır.

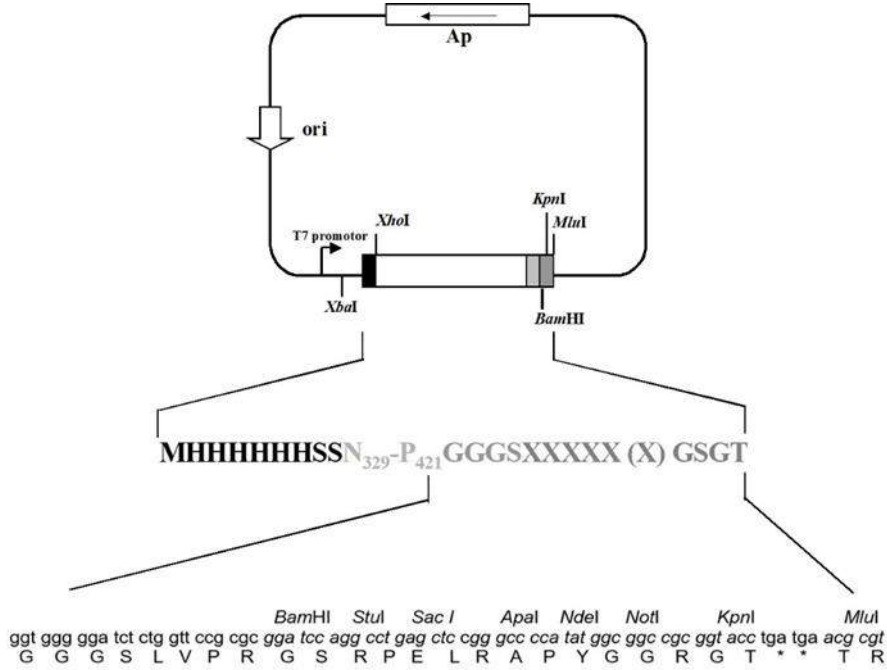


Şekil 2. *E.coli* TolA III proteini ve mutasyon gerçekleştirilen bölgeler (Şekil 1tol kodlu PDB dosyası kullanılarak PyMOL programında oluşturulmuştur)

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Primer Tasarımı

QuickChange mutasyon tekniği genellikle nokta mutasyonlarının, amino asit değişimlerinin, tek veya daha fazla amino asit eklenmesi veya silinmesi işlemlerinin gerçekleştirilmesi için kullanılan bir metottür. Bu teknik uygulanırken gerçekleştirilen polimeraz zincir reaksiyonu (PZR) işleminde Pfu DNA polimeraz enzimi kullanılır. Bu enzim diğer polimeraz enzimlerinden çok daha az hata payına sahip olması ve yüksek proofreading aktivitesiyle ayrılır. Bu teknikte kullanılan oligonükleotid primerlerin her birinin mutasyonun gerçekleştirileceği vektörün her bir zincirine tamamlayıcı baz dizilerinden oluşturulmuş ve gerçekleştirilmek istenen mutasyona ait değişikliği orta kısmında içermesine dikkat edilmiştir. Oligonükleotid primerlerinin hedef plazmit DNA ile birleşmesinin ardından PfuTurbo DNA polimeraz enzimi kullanılarak PZR gerçekleştirilmiş ve sonucunda ilgili mutasyonları içeren yeni PZR ürünleri elde edilmiştir (Şekil 1). Bir sonraki aşamada ise PZR ürünlerine Dpn I (hedef sekans: 5'-Gm6ATC-3') restriksiyon enzimi ile muamele edilerek parental kalıp DNA'ların uzaklaştırılması sağlanmıştır.



Şekil 3. *pTolT E.coli* ekspresyon vektörü ve çoklu klonlama bölgesi (Anderluh ve ark., 2003)

Bu çalışmada gerçekleştirilmek istenen mutasyonlar 56. ve 31. pozisyondaki sisteinlerin yerine serin amino asitinin getirilmesidir (Sırasıyla C56S ve C31S mutasyonları). Bu işlem için pToIT plazmiti (Gaziosmanpaşa Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi öğretim üyesi Prof. Dr. İsa GÖKÇE tarafından laboratuvarımız gönderilmiştir.) (Şekil 3) üzerinde yer alan TolAIII proteini gen dizisinde (Şekil 4) 31. ve 56. pozisyondaki sistein rezidülerini kodlayan TGT'nin, serin amino asidini kodlayan AGT ile değiştirilmesine yönelik ileri ve geri primerler tasarlanmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. QuickChange mutasyon reaksiyonu için tasarlanan primerler

Primer Adı	Primer Sekansı	T <sub>M</sub> (°C)
pTOL C1F	GTCCTATGCAGGCCAAAACCACTACGCTGCGCATAAACTG	73,5
pTOL C1R	CAGTTTTATGCGCAGCGTACTGGTTTTGCCTGCATAGGAC	73,5
pTOL C2F	GGTGGCGATCCCAGCACTTACTCAGGCTGCGTTGGCAGCAG	>75
pTOL C2R	CTGCTGCCAACGCAGCCTGACTAAGTGCGGGATCGCCACC	>75

Primerler tasarlanırken her iki primerin de (ileri ve geri primer) tasarlanan mutasyonu içermesine, ayrıca ileri ve geri primerlerin hedef DNA'nın aynı bölgesindeki karşıt zincirlere birebir eşlenik olmasına dikkat edilmiştir. Primerlerin kalıp DNA'ya daha sıkı bağlanabilmesi ve PZR ürünlerini mutant olmaya zorlaması amacıyla hem 5' hem de 3' uçlarında G veya C nükleotidlerinin olmasına özellikle dikkat edilmiştir. Kit üreticisi firma tarafından tasarımı gerçekleştirilen primer çiftlerinin 25 ile 45 baz uzunluğunda olması tavsiye edildiğinden dolayı bu çalışmada da 40 baz uzunluğundaki oligonükleotidler primer olarak kullanılmıştır. Buradaki hassas noktalardan birisi primer uzunluğunun 45 bazdan daha fazla olmamasıdır. Çünkü uzunluk daha da arttıkça oligonükleotidlerde sekonder yapıların gözlenme ihtimali fazlalaşarak non-spesifik PZR ürünlerinin elde edilmesi veya başarısız PZR gerçekleşme ihtimali kuvvetlenmektedir. Tasarlanan primerler Eurofins Genomics (EU) firmasından temin edilmiştir. Yine üretici firma tarafından tavsiye edildiği şekliyle hedeflenen mutasyonun primer çiftinin orta bölgesine yerleştirilmesine, mutajenik bölgenin her iki tarafında en az 15'er baz eşlenik sekansın bulunmasına özellikle dikkat edilmiştir.

```

gccaccgaatttctctagaatattttgtttacttttagaaggagatataccatgcatcac
A T E F P L E Y F V Y F R R R Y T M H H
catcaccatcactcgcagcaacaatggcgcacacaggggcccgatatcaataactatgccggg
H H H H S S N N G A S G A D I N N Y A G
cagattaaatctgctatcgaaagtaagttctatgacgcacatcgctcctatgcaggcaaac
Q I K S A I E S K F Y D A S S Y A G K T
tgtacgctgcgcataaaactggcaccgatggatggttactggatcaaacctgaagggt
C T L R I K L A P D G M L L D I K P E G
ggcgatcccgcactttgtcaggctgcggtggcagcagctaaacttgccaagatcccgaaa
G D P A L C Q A A L A A A K L A K I P K
ccaccaagccaggcagtatatgaagtgttcaaaaacgcgccattggacttcaaaccgggt
P P S Q A V Y E V F K N A P L D F K P G
gggggatctctggttccgcgcgggatccaggcctgagctccggggcccatatggcggccgc
G G S L V P R G S R P E L R A P Y G G R
ggtacctgatgaacgcgt
G T - - T R
    
```

Şekil 4. TolAIII proteinine ait DNA ve amino asit sekansı (Gokce ve ark., 2008)

## 2.2. QuickChange Reaksiyonu için PZR

PZR için tasarlanan primerler son konsantrasyonları 10 pmol mL<sup>-1</sup> olacak şekilde seyreltilmiştir. Kalıp olarak kullanılan pToIT plazmiti *E.coli* Mach I suşunda çoğaltılarak Monarch® Plasmid Miniprep Kit (New England BioLabs. Inc.) ile saflaştırılmıştır (Ulusu ve ark., 2016). Saflaştırma sonucunda elde edilen plazmid konsantrasyonu mikro hacimli spektrofotometre ile ölçülmüş ve 37,7 ng mL<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir. QuickChange reaksiyonu için kullanılan kit protokolünde 5-50 ng mL<sup>-1</sup> aralığındaki kalıp DNA konsantrasyonu en iyi PZR sonucu için optimize edildiğinden dolayı saflaştırılan 37,7 ng mL<sup>-1</sup> olarak saflaştırılan pToIT plazmiti PZR için kullanılmıştır. Her bir mutasyona özgü olmak üzere primerler ile PZR karışımı Tablo 2'deki gibi hazırlanmıştır. Kit üreticisi firma tarafından önerildiği şekilde nokta mutasyonunu gerçekleştirmek üzere PZR için 12 döngü seçilmiştir (Tablo2).

Tablo 2. QuickChange reaksiyonu için PZR karışımları ve parametreleri (Agilent QuikChange Site-Directed Mutagenesis Kit Instruction Manual Catalog # 200518)

PZR Bileşeni	Miktar
PZR Tamponu (10 X)	5 µl
Kalıp DNA	2 µl
İleri Primer	1 µl
Geri Primer	1 µl
dNTP (2 mM)	5 µl
Ultra <i>Pfu</i> DNA Polimeraz	1 µl
ddH <sub>2</sub> O	35 µl
<b>TOPLAM</b>	<b>50 µl</b>

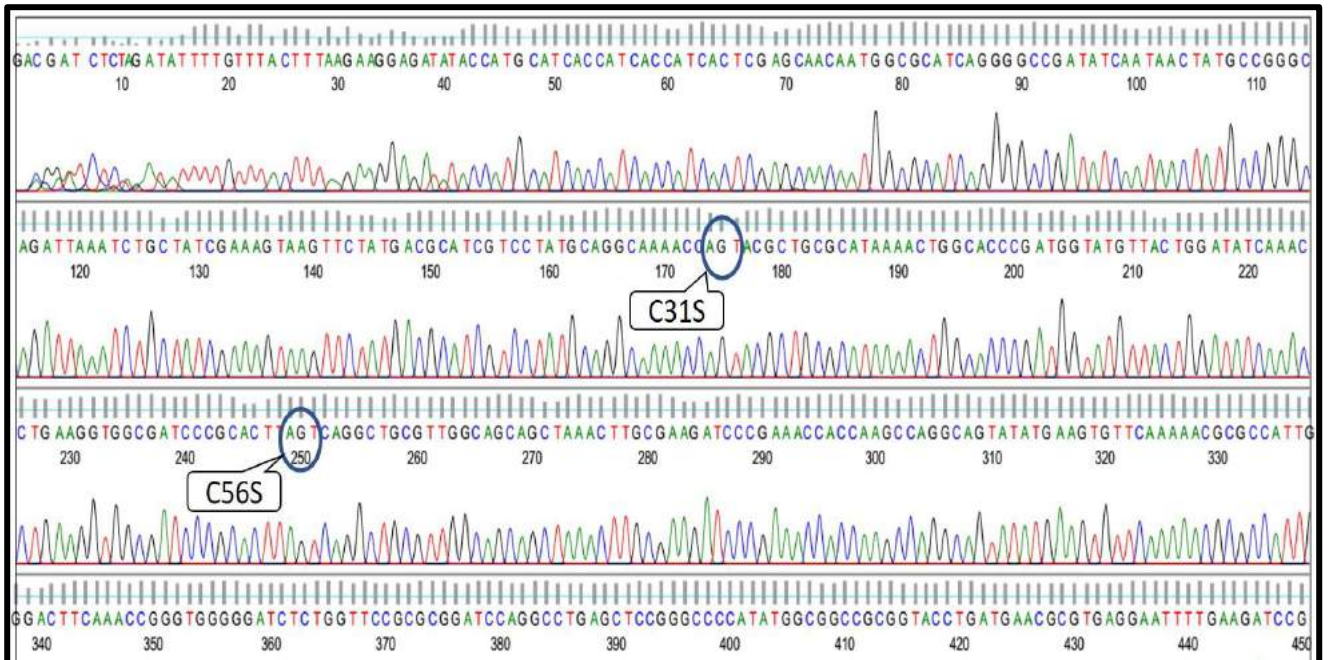
Basamak	Döngü sayısı	Sıcaklık	Süre
1	1	95 °C	30 sn
2	12-18	95 °C	30 sn
		55 °C	1 dk.
		68 °C	1 min/kb plazmid

### 2.3. Dpn I Kesimi

Elde edilen PZR ürünleri içerisinde parental (metillenmiş) DNA'ların yok edilmesi amacıyla metilasyonu gerçekleştirmiş DNA numunelerine spesifik olan Dpn I restriksiyon enzimi ile kesim gerçekleştirilmiştir. Bu işlem için her bir PZR ürününe 10 U/µl Dpn I enziminden 1 µl ilave edilerek kesim başlatılmıştır. Reaksiyon karışımı hafifçe çalkalanarak ve pipet ile birkaç defa alt üst edildikten sonra santrifüj edilmiştir. Daha sonra numuneler 1 saat 37 °C'de inkübe edilerek kesim gerçekleştirilmiştir. Elde edilen mutant plazmid DNA'lar ısı şoku ile (Uluslu ve ark., 2016) NEB® Turbo Competent *E. coli* (High Efficiency) hücrelerine transforme edilerek Amp (+) LB Agar içeren petri kaplarına yayma ekim yapılmıştır.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Sunulan bu çalışmada *Escherichia coli* ekspresyon vektörü pToIT moleküler olarak nokta mutasyonu tekniği ile modifiye edilerek sisteinlerinden arındırılmıştır. Söz konusu vektör prokaryotik rekombinant protein üretimi için sıklıkla tercih edilen *E. coli*'de kimerik proteinlerin üretilerek saflaştırılması amacıyla kullanılmaktadır. Genetik mühendisliği teknikleriyle pToIT plazmitine klonlanan bir gen, indüklenebilir T7 promotörü altında *E. coli* periplazmik bölge proteinlerinden olan TolAIII ile birlikte füzyon olarak ifade edilmektedir. Protein mühendisliği çalışmalarında özellikle heterolog proteinlerin üretilmesinde sıklıkla karşılaşılan inklüzyon cisimciğinin oluşması, konakçı hücre tarafından üretilen proteinin toksik olarak algılanması gibi durumlara karşı geliştirilmiş olan pToIT ekspresyon plazmitinin açık okuma çerçevesi sırasıyla; 6 X His Tag, TolA III *E.coli* periplazmik proteini, thrombin enzimi tanıma bölgesi (LVPRGS), ilgilenilen protein ve sonlanma kodonundan oluşmaktadır (Şekil 3). Bu çalışmada pToIT ekspresyon plazmitinin modifiye edilerek pToIT Delta'nın (sisteinleri giderilmiş) elde edilmesinin temel amacı, heterolog proteinde bir veya daha fazla sistein bulunması durumunda istenmeyen disülfid çapraz bağlarının oluşarak proteinin 3 boyutlu konformasyonunu değiştirme ihtimalinin önüne geçilmesidir. Gerçekleştirilen QuikChange site-directed mutagenesis reaksiyonuyla iki aşamada TolA-III proteininde bulunan iki Cys (C) rezidüsü Ser (S) ile değiştirilerek (C56S ve C31S mutasyonları) pToIT delta plazmiti elde edilmiştir. Gerçekleştirilen mutasyonun doğrulanması amacıyla DNA sekans analizi yapılan mutant plazmitlere ait dizileme kromatogramı Şekil 5.'te verilmiştir. Kromatogram FinchTV Version 1.4.0 programında görüntülenmiştir.





Şekil 5. QuikChange site-directed mutagenesis reaksiyonu sonucunda elde edilen pToIT Delta plazmitine ait DNA sekans analizi kromatogramı

Proteinlerin ve peptidlerin doğal yapıları; molekülün esnekliğini, konformasyonunu ve katlanmasını direkt veya indirekt olarak belirleyen pek çok etkileşim tarafından stabilize edilir. Hidrojen bağı ve hidrofobik etkileşimler gibi, bu etkileşimlerin çoğu, non-kovalent ve genellikle zayıf etkileşimlerdir. Diğer bir taraftan ise, kovalent etkileşimlerin, özellikle küçük boyutlarından dolayı hidrofobik amino asitleri az miktarda içermelerinden dolayı peptidlerin katlanmalarında daha etkili oldukları düşünülmektedir (Khoo ve Norton, 2011). Kovalent etkileşimlerin en çok bilinen örneği ise özellikle iki sistein amino asidi arasında meydana gelen disülfid bağlarıdır. Bu bağlar genellikle; büyüme faktörleri, hormonlar, enzimler, toksinler ve arkealar tarafından üretilen termostabil intraselüler proteinlerde bol miktarda bulunurlar (Mallick ve ark., 2002). Disülfid bağlarının çoğu, proteinin 3 boyutlu konformasyonunu devam ettirmek dışında fonksiyon için görev almazlar, fakat bu bağların varlığı proteinlerin tersiyer yapılarının oluşturulmasında ve devamında direkt olarak ilgili oldukları için proteinlerin aktivitesini ciddi oranda etkileyebilirler.

Sequence ID: Query_186115 Length: 89 Number of Matches: 1					
Range 1: 1 to 89 <a href="#">Graphics</a>					
Score	Expect	Method	Identities	Positives	Gaps
172 bits(437)	2e-63	Compositional matrix adjust.	87/89(98%)	87/89(97%)	0/89(0%)
pToIT	1	SGADINNYAGQIKSAIESKFDASSYAGKCTFLRIKLAPDGMMLLDIKPEGGDPALQQAAL			60
pToIT-Delta	1	SGADINNYAGQIKSAIESKFDASSYAGKTSFLRIKLAPDGMMLLDIKPEGGDPALQQAAL			60
pToIT	61	AAAKLAKIPKPPSQAVYEVFKNAPLDFKP	89		
pToIT-Delta	61	AAAKLAKIPKPPSQAVYEVFKNAPLDFKP	89		

Şekil 6. pToIT ve pToIT Delta plazmitlerinde bulunan TolA III aminoasit sekansı hizalama sonuçları (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>)

#### 4. Sonuç

Sonuç itibarıyla doğal bir proteinde bulunan disülfid bağının ortadan kaldırılması veya yeni sisteinler ile yeni disülfid bağlarının teşekkülü yapıya bağlı olarak fonksiyonu etkileyebilmektedir. Bu çalışmada da elde edilen pToIT Delta plazmitinin yabancı tipte olan pToIT ile sekans hizalama sonuçlarına bakıldığında (Sekans hizalama işlemi NCBI BLAST On-line programı ile gerçekleştirilmiştir) (Şekil 6) TolA III proteininin 31. ve 56. pozisyonunda bulunan sistein rezidülerinin kaldırılarak serin'e dönüştürüldüğü görülmektedir. Böylece pToIT Delta ekspresyon plazmiti kullanılarak gerçekleştirilecek heterolog gen ekspresyonu çalışmalarında doğal olmayan disülfid çapraz bağlarının oluşması engellenmiş olacaktır.

#### Kaynakça

- Agilent QuikChange Site-Directed Mutagenesis Kit Instruction Manual Catalog # 200518
- Anderluh, G., Gökçe, I., & Lakey, J. H. (2003). Expression of proteins using the third domain of the Escherichia coli periplasmic-protein TolA as a fusion partner. *Protein expression and purification*, 28(1), 173-181.
- Bulaj, G. (2005). Formation of disulfide bonds in proteins and peptides. *Biotechnology advances*, 23(1), 87-92.
- Crowe, J., Dobeli, H., Gentz, R., Hochuli, E., Stiiber, D., & Henco, K. (1994). 6xHis-ni-nta chromatography as a superior technique in recombinant protein expression/purification. In *Protocols for gene analysis* (pp. 371-387). Humana Press.
- Derman, A. I., Prinz, W. A., Belin, D., & Beckwith, J. (1993). Mutations that allow disulfide bond formation in the cytoplasm of Escherichia coli. *Science*, 262(5140), 1744-1747.
- Gokce, I., Anderluh, G., & Lakey, J. H. (2008). *U.S. Patent No. 7,348,408*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Khoo, K., & Norton, R. S. (2011). Role of disulfide bonds in peptide and protein conformation. In *Amino Acids, Peptides and Proteins in Organic Chemistry: Analysis and Function of Amino Acids and Peptides* (pp. 395-417). Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- LaVallie, E. R., & McCoy, J. M. (1995). Gene fusion expression systems in Escherichia coli. *Current opinion in biotechnology*, 6(5), 501-506.
- Lazzaroni, J. C., Germon, P., Ray, M. C., & Vianney, A. (1999). The Tol proteins of Escherichia coli and their involvement in the uptake of biomolecules and outer membrane stability. *FEMS microbiology letters*, 177(2), 191-197.
- Levengood, S. K., Beyer, W. F., & Webster, R. E. (1991). TolA: a membrane protein involved in colicin uptake contains an extended helical region. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 88(14), 5939-5943.
- Lubkowski, J., Hennecke, F., Plückthun, A., & Wlodawer, A. (1999). Filamentous phage infection: crystal structure of g3p in complex with its coreceptor, the C-terminal domain of TolA. *Structure*, 7(6), 711-722.
- Makrides, S. C. (1996). Strategies for achieving high-level expression of genes in Escherichia coli. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.*, 60(3), 512-538.

- Mallick, P., Boutz, D. R., Eisenberg, D., & Yeates, T. O. (2002). Genomic evidence that the intracellular proteins of archaeal microbes contain disulfide bonds. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(15), 9679-9684.
- Mansfeld, J., Vriend, G., Dijkstra, B. W., Veltman, O. R., Van den Burg, B., Venema, G. & Eijsink, V. G. (1997). Extreme stabilization of a thermolysin-like protease by an engineered disulfide bond. *Journal of Biological Chemistry*, 272(17), 11152-11156.
- Stewart, E. J., Åslund, F., & Beckwith, J. (1998). Disulfide bond formation in the Escherichia coli cytoplasm: an in vivo role reversal for the thioredoxins. *The EMBO journal*, 17(19), 5543-5550.
- Ulus, Y., Şentürk, S. B., Kuduğ, H., & Gökçe, İ. (2016). Expression, purification, and characterization of bovine chymosin enzyme using an inducible pTOLT system. *Preparative Biochemistry and Biotechnology*, 46(6), 596-601.



# V- alanında Minimum Açılı Kutup Yerleşimi Yöntemine Göre Kesir Dereceli PI Denetçi Tasarımı ve Dayanıklılık Kontrol Performansının İncelenmesi

Sevilay Tüfenkçi<sup>1</sup>, Bilal Şenol<sup>2</sup>, Barış Baykant Alagöz<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Inonu University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department, Malatya, Turkey (ORCID: 0000-0001-9815-7724)

<sup>2</sup>Inonu University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department, Malatya, Turkey (ORCID: 0000-0002-3734-8807)

<sup>3</sup>Inonu University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department, Malatya, Turkey (ORCID: 0000-0001-5238-6433)

(İlk Geliş Tarihi 31 Temmuz 2019 ve Kabul Tarihi 3 Eylül 2019)

(DOI:10.31590/ejosat.599221)

**ATIF/REFERENCE:** Tüfenkçi, S., Şenol, B. & Alagöz, B. B. (2019). V- alanında Minimum Açılı Kutup Yerleşimi Yöntemine Göre Kesir Dereceli PI Denetçi Tasarımı ve Dayanıklılık Kontrol Performansının İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 9-19.

## Öz

Kesir dereceli dinamik sistem modelleri gerçek hayatta kullanılan sistemleri daha doğru bir şekilde temsil edilebilmesi nedeni ile kesir dereceli sistem modellerine ve kesir dereceli kontrole olan ilgi artırmıştır. Bu çalışma kesir dereceli sistem modellerinin kararlılık analizi için kullanılan v- alanı içerisinde, minimum açılı kutup yerleştirme yöntemine göre kesir dereceli PI denetçi tasarımlarını sunmaktadır ve farklı hedef açı değerlerinin bu tasarımların dayanıklılık kontrol performansına etkileri incelenmektedir. Bu amaçla, kesir dereceli PI denetçi tasarımları seçilen üç farklı hedef açı değeri için v- alanında kutup yerleştirme yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Burada, minimum açılı sistem kutuplarının belirlenmiş hedef açılara yerleştirilmesi için genetik algoritma kullanılmış ve böylece kesir dereceli PI denetçi katsayıları optimize edilmiştir. Bu çalışmada iki örnek uygulama gösterilmekte ve bu örnek uygulamalarda kararlılık bölgesi içerisinde seçilen hedef noktalara minimum açılı sistem kutuplarının yerleştiren kesir dereceli PI denetçi tasarımları elde edilmiştir. Elde edilen PI denetçi tasarımları için plant fonksiyonlarının kazanç katsayısı değiştirilerek farklı hedef açı konfigürasyonları için elde edilen kontrol sistemlerinin dayanıklılık kontrol performansları incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre dayanıklılık kontrol performansı sağlayan hedef açı bölgeleri araştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kesir dereceli PI denetçi, dayanıklılık kontrol performansı, v- alanı tasarımı, iso-damping özelliği

## Fractional Order PI Control Design in V-domain According to Minimum Angle Pole Placement Method and Investigation of Robust Control Performance

### Abstract

Since fractional dynamic system models can represent real-life systems more accurately, interest in fractional order system models and fraction order control has increased. This study presents fractional order PI controller design according to minimum angle pole placement method in v-field that was used for stability analysis of fraction order system models, and the effects of different target

\* Sorumlu Yazar: Inonu University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department, Malatya, Turkey, ORCID: 0000-0001-5238-6433, [baykant.alagoz@inonu.edu.tr](mailto:baykant.alagoz@inonu.edu.tr)

minimum angle values on the robust control performance of these designs are considered. For this purpose, fractional order PI controller designs were carried out for selected three different target angle values according to minimum angle pole placement in  $v$ -domain. Here, genetic algorithm is used to place the minimum angle system poles to the specified target angles and thus fractional order PI controller coefficients were optimized. In this study, two illustrative design examples are demonstrated, and fractional order PI control system designs, which place minimum angle system poles to selected target points in the stability region, are obtained in these examples. The robust stability performance of the PI controller designs obtained for different target angle configurations were examined by changing gain coefficient of plant functions. According to findings obtained, the target angle regions that provide robust control performance, have been investigated.

**Keywords:** Fractional order PI control, robust control performance,  $v$ -field design, iso-damping property

## 1. Giriş

Kesirli dereceli türev ve integral tanımları çok uzun yıllardır matematiğin ilgi alanında kalmıştır. 1941'de kesir dereceli modellerin fiziksel gerçek sistemleri modelleme konusunda tam sayı dereceli sistem modellerine kıyasla daha başarılı olduğu gösterilmiştir (Cole ve Cole,1941). Kesir dereceli dinamik kontrol sistemi çalışmaları 90'lerden sonra yaygınlaşmaya başlamaktadır (Matignon,1996). Son yıllarda fiziksel sistemlerin kesir dereceli modeli (Alagoz ve ark. 2017; El-Sayed, 1996; Mainardi, 1996) ve kesir dereceli kontrol uygulamaları (Oustaloup ve Mathieu, 1999; Podlubny, 1999; Xue ve Chen, 2002) üzerinde çalışmalar oldukça yaygınlaşmaya başlamıştır. Özellikle kontrol sahasında, klasik PID kontrole kıyasla kesir dereceli PID denetçilerin avantajları incelenmiştir (Oustaloup ve Mathieu,1999; Podlubny,1999; Xue ve Chen, 2002). Kesir dereceli PID kontrol sistemleri klasik PID sistemlerinde bulunan üç adet kazanç katsayısı ( $k_p, k_d, k_i$ ) yanında kesir dereceli integral ve türev işlemlerinin de derecesi olan  $\lambda$  ve  $\mu$  parametrelerinin de tasarım katsayıları olarak kullanımına imkân sağlamıştır. Böyle,  $\{k_p, k_d, k_i\}$  katsayıları ile belirlenen bütün klasik PID denetçileri  $\lambda = 1$  ve  $\mu = 1$  durumu için kapsanmıştır. Bunun dışında  $\lambda \in R$  ve  $\mu \in R$  integral ve türev derecelerinin tamsayı olmayan (reel sayı) değerlerde ayarlanması ile klasik PID denetçilerin sağlayamadığı cevapları da üretebilen ve daha iyi kontrol performansı sunabilen denetçi tasarımlarını mümkün kılmıştır.

Kontrol sistemi tasarımında, sistemin kararlılığının sağlanması birincil önceliğe sahiptir. Kararsız sistemler kontrol edilemez ve mühendislik anlamında kullanışsızdırlar. Sistem kararlığı garanti edildikten sonra kontrol sisteminin performansının uygulama gereksinimlerine göre optimize edilmesi mümkün olabilmektedir. Sonuçta, kontrollör tasarımı ihtiyaç duyulan sistem cevabının elde edilebilmesi için kontrol sisteminin tasarım parametrelerinin optimize edilmesine dönüşür. Ancak, her optimizasyon süreci öncelikle kontrol sisteminin kararlılığını sağlamak zorundadır. Bu işleme sistem kararlılaştırma (stabilization) adı verilir. Literatürde, kesir dereceli kontrol sistemlerinde sistem kararlılığını sağlamak için çeşitli yöntemler önerilmiştir. Bunlardan başlıcaları şunlardır: kararlılık sınır eğrisi analizine dayalı kararlılaştırma yöntemleri(SBL)(Hamamci,2007;Tan ve ark.,2006), sistem kutup yerleşimine dayalı analiz yöntemleri (Matignon, 1996; Radwan ve ark., 2009; Chen ve ark., 2006; Senol ve ark., 2014; Alagoz ve ark., 2015; Alagoz, 2018), ve değer kümesi analizine dayalı kararlılık analizi yöntemleri (Tan ve ark., 2006; Tan ve ark., 2009) gibi örnek verilebilir.

Kesir dereceli kontrol sistemlerinin dayanıklı kontrol performansı sergilemesi için bir çok tasarım yöntemi frekans bölgesinde önerilmiştir (Oustaloup, 1999; Chen ve ark., 2003; Monje ve ark., 2008). Bu yöntemler çevrim biçimlendirme (loop shaping) tasarım yöntemleri olarak adlandırılmış, kesir dereceli kontrol sisteminin DC kazanç değişimlerine karşı daha dayanıklı olması sağlanmıştır. Ancak, önerilen yöntemler açık çevrim transfer fonksiyonun frekans bölgesinde analizine dayanmakta ve faz marjı ve geçiş frekansı (crossover frekansı) parametrelerinin kararlık koşulu için önceden belirlenmiş olmasına ihtiyaç duymaktadır. Bu çalışma kapsamında minimum açılı sistem kutbunun  $v$ -düzleminin birinci Riemann tabakasında yerleşimine dayalı sistem tasarım yöntemi uygulanmıştır.  $V$ -düzlemi karakteristik polinoma  $s = v^m$  dönüşümü uygulanması sonucu kök yerleşiminin gösterilebildiği kompleks bir düzlemdir. Geçmiş çalışmalarda,  $v$ -bölgesi kararlılaştırma yönteminin uygulamaları gösterilmiş ve avantajları tartışılmıştır (Alagoz, 2018; Tufenkci ve ark., 2018). Ancak, farklı minimum hedef açı değerleri için kararlılaştırılan kontrol sistemlerinin kontrol performansını incelenmemiş ve kontrol sisteminin performansını iyileştiren minimum açı bölgelerinin araştırılmasına dönük çalışmalar henüz yapılmamıştır. Bu çalışmada,  $v$ -alanında optimal kesir dereceli denetçi tasarım yöntemi geliştirmek için bu noktalarda araştırma yapılmaktadır. Bu bağlamda, kesir dereceli PI denetçi sisteminin üç farklı hedef açı için minimum açılı kutup yerleşimi yapılmış ve elde edilen kararlı kontrol sistemlerinin dayanıklı kontrol performansı incelenmiştir. Bu çalışmada iki tasarım örneği üzerinde üç farklı minimum hedef açı konfigürasyonu için kesir dereceli PI denetçi tasarımları  $v$ -alanında gerçekleştirilmiş ve sistemlerin dayanıklı kontrol performansı sağlayabildiği kutup yerleşim bölgeleri zaman bölgesi cevapları ile araştırılmıştır.

Bu makale şöyle organize edilmiştir: İkinci bölümde  $v$ -alanı içinde kararlılık analizi için teorik geri planı sunulmuştur. Üçüncü bölümde kesir dereceli PI kontrol sisteminin  $v$ -alanında minimum açılı sistem kutbu yerleştirilmesine göre kararlılaştırılması için optimizasyon problemi tanımlanmıştır. Dördüncü bölümde üç farklı hedef açıya göre  $v$ -alanında kararlılaştırılan kesir dereceli PI kontrol sistemlerinin zaman bölgesi kontrol cevapları dayanıklı kontrol performansı nümerik örnekler üzerinde incelenmiştir. Sonuçlar beşinci bölümde sunulmuştur.



## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Kesir Dereceli Sistemlerin v-alamı Kararlılık Analizi Temelleri

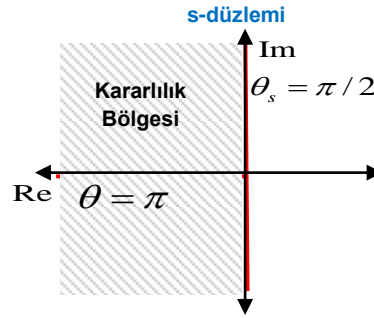
Kesir dereceli kontrol sistemleri yaygın olarak transfer fonksiyonları ile temsil edilirler. Zaman bölgesi kesir dereceli diferansiyel denklem modeline Laplace dönüşümü uygulanarak elde edilen kesir dereceli transfer fonksiyonu bir bu sistemin giriş-çıkış ilişkisini s- alanında ifade etmektedir. Kesir dereceli sistemlerin transfer fonksiyonunun genel formu,

$$T(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{\sum_{i=0}^m b_i s^{\alpha_i}}{\sum_{i=0}^n a_i s^{\alpha_i}} \quad (1)$$

ile verilmiştir (Chen ve ark., 2009; Petras, 2009). Transfer fonksiyonunun payda polinomunun kökleri sistemin kutupları olarak adlandırılır ve bu köklerin kompleks düzlemde yerleri sistem kararlılığı hakkında bilgi verir. Denklem (1) ile ifade edilen sistemin karakteristik polinomu,

$$\Delta(s) = \sum_{i=0}^n a_i s^{\alpha_i} \quad (2)$$

ile ifade edilir (Matignon, 1996; Senol ve ark., 2014; Chen ve ark., 2009; Petras, 2009). Karakteristik polinom sıfıra eşitlenerek karakteristik denklem elde edilir. Karakteristik denklemin kökleri olan sistem kutuplarının kompleks s-düzlemi üzerinde konumları incelenerek kararlılık analizi yapılır. Buna göre, tam sayı dereceli sistemlerde sistem kutuplarının hepsi sol yarı düzlem üzerine yerleşmiş ise sistem kararlıdır. En az bir kutup sağ yarı düzlemde bulunursa sistem kararsız olur. Buna s-alamı için sol yarı düzlem kararlılık koşulu adı verilmiştir ve Şekil 1'de kompleks s-düzleminin kararlılık bölgesi gösterilmiştir.

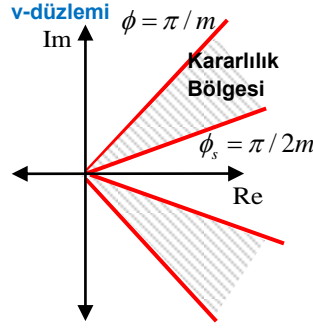


Şekil 1. Tamsayı dereceli sistemler için sol yarı düzlem kararlılık bölgesi

Kesir dereceli sistemler için kararlılık bölgesi analizinde kesir dereceli karakteristik denklemin köklerinin hesaplanması gerekmektedir ve bu hesaplama zorluklar içerir. Bunun yerine, çözümü kolaylaştırmak için  $s = v^m$  dönüşümü uygulanarak kesir dereceli karakteristik denklem genişletilmiş tamsayı dereceli karakteristik denkleme dönüştürülür ve v- alanında tamsayı dereceli polinom denklemi olarak çözülür (Radwan ve ark., 2009; Senol ve ark., 2014; Alagoz ve ark., 2015; Alagoz, 2018). Bu s- alanından v- alanına bu dönüşümün temel nedeni kesir dereceli polinomların köklerinin hesaplanmasındaki güçlüklerdir. Denklem (2) ile ifade edilen kesir dereceli transfer fonksiyonun  $s = v^m$  dönüşümü ile elde edilen genişletilmiş tam sayı dereceli karakteristik polinomu şöyle ifade edilir:

$$\Delta_m(v) = \sum_{i=0}^n a_i v^{(m\alpha_i)} \quad (3)$$

Bu dönüşüm tamsayı dereceli sistemler için belirlenen sol yarı düzlem kararlılık bölgesini v-düzleminin birinci Riemann yüzeyi üzerinde açısı  $\phi = \pi/2m$  ile  $\phi = \pi/m$  olan bölge içerisine taşır (Senol ve ark., 2014; Alagoz ve ark., 2015; Alagoz, 2018, Chen ve ark., 2009). Şekil 2'de görüldüğü üzere  $\phi = \pi/2m$  alt sınırı ile  $\phi = \pi/m$  üst sınırı arasında kalan bölge v- alanının kararlılık bölgesidir.



Şekil 2. Kesir dereceli sistemler için  $s = v^m$  eşleştirmesi ile kararlılık bölgesi

Minimum açılı sistem kutbunun  $\phi = \pi/2m$  açısı ile ifade edilen kararlılık sınırının üstünde kalması, diğer bir ifade ile Şekil 2’de taralı bölge içinde olması kesir dereceli sistemin kararlı olduğunu gösterir.

Bu çalışmada, kesir dereceli PI kontrol sisteminin kararlılaştırılması için minimum açılı sistem kutuplarının v-düzlemi kararlılık bölgesi içerisinde bir hedef açığa getirilmesi için kesir dereceli PI denetçi katsayılarının genetik algoritma yardımı ile optimizasyonu yapılmaktadır.

Gerçek kontrol uygulamalarında çevresel etkiler veya sistemin iç dinamiğinde meydana gelen bozulmalar gibi birçok etkenden dolayı sistem modelinin (plant fonksiyonu) değişimi kaçınılmaz bir durumdur. Bu durum sistem modelinin katsayılarının değişimine yol açar ve sistemin parametrik pertürbasyonu olarak ifade edilir. Bu koşullarda çalışan bir kontrol sisteminin parametrik değişimleri tolere edebilmesi, kontrol sisteminin performansının dayanıklı olması ve diğer bir ifade ile değişmemesi istenir. Kesir dereceli kontrol sistemlerinin önemli bir avantajı olarak dayanıklı kontrol performansı gösterilmiştir (Chen ve ark., 2003; Monje ve ark., 2008).

### 3. Kesir Dereceli PI Kontrol Sisteminin v- Alanında Tasarımı

Kesir dereceli kontrol sisteminde kullanılan kesir dereceli PI (FOPI) denetçinin transfer fonksiyonu

$$C(s) = k_p + \frac{k_i}{s^\lambda} \quad (5)$$

ile ifadeler edilir. Bu çalışmada kontrol edilen sistem modeli (Plant fonksiyonu) bir kutuplu kesir derece sistem olarak varsayılmıştır.

$$G(s) = \frac{a_0}{b_1 s^\alpha + b_0} \quad (6)$$

Plant ve PI denetleyici yapısı kullanılarak oluşturulan kapalı çevrim kesir dereceli PI kontrol sisteminin transfer fonksiyonu şöyle ifade edilebilir.

$$T(s) = \frac{Q(s)}{R(s)} = \frac{a_0 k_p s^\lambda + a_0 k_i}{b_1 s^{(\lambda+\alpha)} + (b_0 + a_0 k_p) s^\lambda + a_0 k_i} \quad (7)$$

Burada transfer fonksiyonunun payda polinomu kesir dereceli karakteristik denklemi ifade eder. Dolayısı ile bu sistemin kesir dereceli karakteristik denklemi

$$\Delta(s) = b_1 s^{(\lambda+\alpha)} + (b_0 + a_0 k_p) s^\lambda + a_0 k_i \quad (8)$$

ile elde edilir. Kesir dereceli karakteristik polinomda  $s = v^m$  dönüşümü uygulanarak elde edilen genişletilmiş tam sayı dereceli karakteristik denklem şöyle ifade edilebilir.

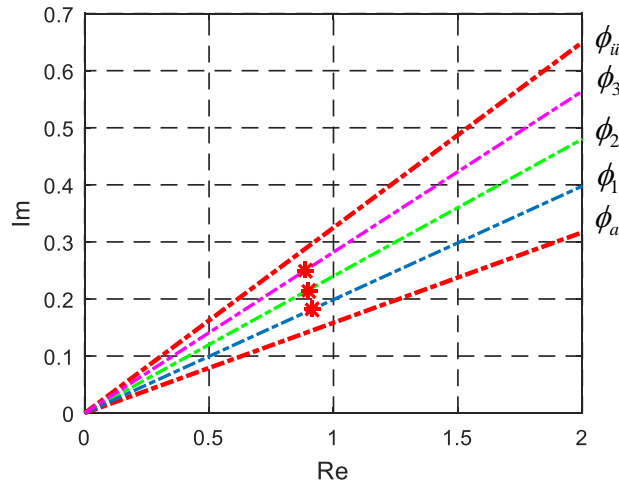
$$\Delta_m(v) = b_1 v^{(\lambda+\alpha)m} + (b_0 + a_0 k_p) v^{\lambda m} + a_0 k_i \quad (9)$$

Genişletilmiş tamsayı dereceli karakteristik polinom köklerinden minimum açığa sahip olan sistem kutbu ( $v_m = \min |\arg(v_r)|$ ,  $\Delta_m(v_r) = 0$ ) önceden tanımlanmış bir hedef noktaya getirilmeye çalışılmaktadır. Bu kutup yerleştirme problemi PI katsayılarının  $\{k_p, k_i, \lambda\}$  optimizasyonu ile çözümlenmektedir. Sistem kutbunu belirlenen hedef noktaya getirerek sistem kararlılığını sağlayan kesir dereceli PI katsayıları belirlenir. Bunun için optimizasyon problemi şöyle ifade edilebilir.

$$E = \min(|v_m - v_h|)^2 \quad (10)$$

Burada minimum açılı sistem kutbu  $v_m \in C$  ve hedef nokta  $v_h \in C$  ile gösterilmiştir. Kompleks sayı olan  $v_h$  hedef noktası açısı ( $\phi$ ) ve genliği ( $M$ ) ile polar düzlemde  $v_h = Me^{j\phi}$  formunda ifade edilir.  $\phi$  açısı kararlılık için önemlidir ve kesir dereceli sistemler için kararlılık bölgesi v-düzleminin birinci Riemann yüzeyi içinde üzerinde  $\pi/2m < \phi < \pi/m$  açı aralığı ile sınırlanan bölge olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada amacımız bu kararlılık bölgesi içinde farklı hedef açılarında tasarımı yapılan PI denetçilerin parametrik değişimler karşısında dayanıklı kontrol performanslarının incelenmesidir. Bunun için üç farklı hedef açısı kararlılık bölgesi içinden şöyle belirlendi: v-alanı içerisinde alt sınır  $\phi_a = \pi/2m$ , üst sınır ise  $\phi_i = \pi/m$  ile ifade edilmektedir. Bu sınırlar içinde  $\phi_i = \frac{(d_i + 1)\pi}{2m}$ ,  $d_i \in [0,1]$  kullanılarak hedef açıları belirlenmektedir. Bu çalışmada üç farklı açı seçimi açıya göre düzgün örnekleme için  $d_i \in \{\frac{1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{3}{4}\}$  değerleri ile belirlenmiştir. Burada  $d_i$  kararlılık bölgesinin hedef açısına sahip doğru tarafından parçalanma faktörüdür. Örneğin, parçalanma faktörü  $d_i = \frac{1}{2}$  alınması kararlılık bölgesini ortadan ikiye ayıran açıyı belirlemek için kullanılmıştır.  $d_i = 0$  kararlılık bölgesinin alt sınırını ve  $d_i = 1$  ise üst sınırını ifade eder.

Şekil 3'de bu çalışmada belirlenmiş üç farklı hedef açı  $\phi_1 = \frac{5\pi}{8m}$ ,  $\phi_2 = \frac{3\pi}{4m}$  ve  $\phi_3 = \frac{7\pi}{8m}$  için belirlenmiş kutup yerleşim noktaları kırmızı yıldız ile gösterilmiştir. Bu hedef açı değerleri kararlılık bölgesi içinde düzgün bir açı örnekleme sağlamıştır. Kırmızı yıldız ile gösterilen bu noktalar kararlılık bölgesi içindedir ve minimum açılı kutup bu noktalara yerleştiği zaman sistemin kararlılığı garanti edilir. Burada Denklem (10) ile ifade edilen optimizasyon probleminin genetik algoritma yardımı ile çözülerek minimum açılı sistem kutbunun bu noktalara yerleşmesi sağlanmaktadır.



Şekil 3.v-alanı içerisinde hedef noktalar

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Tasarım Örnekleri Üzerinde Analizler

Bu bölümde iki örnek sistem için kontrol sisteminin minimum açılı kutuplarının Şekil 3'de verilen  $\phi_1 = \frac{5\pi}{8m}$ ,  $\phi_2 = \frac{3\pi}{4m}$  ve  $\phi_3 = \frac{7\pi}{8m}$  hedef açılı  $v_{h1} = 0.9133 + j0.1817$ ,  $v_{h2} = 0.8980 + j0.2156$  ve  $v_{h3} = 0.8832 + j0.2491$  noktaları üzerine yerleşimi sağlanmıştır. Örneklerde denetleyici katsayılarının bu amaca dönük olarak optimizasyonu için Matlab  $ga()$  fonksiyonu kullanılmıştır. Optimizasyon aşamasında PI katsayısı değer aralıkları  $k_p \in [0,100]$ ,  $k_i \in [0,100]$  ve  $\lambda \in [0,5]$  olarak alınmıştır.

**Örnek 1:** Aşağıda verilen kesir dereceli plant fonksiyonu için kesir dereceli PI denetçi katsayılarını Şekil 3'de verilen v-düzlemi kutup dağılımı sağlamak üzere belirleyelim.

$$G(s) = \frac{0.5}{2.7s^{1.1} + 1} \quad (11)$$

Bunun için öncelikle bu plant fonksiyonu için sistemin karakteristik denklemini Denklem (8) yardımı ile yazalım:

$$\Delta(s) = 2.7s^{(\lambda+1.1)} + (1 + 0.5k_p)s^2 + 0.5k_i \quad (12)$$

Kesir dereceli karakteristik denklemde  $s = v^{10}$  dönüşümü ile genişletilmiş tamsayı dereceli karakteristik denklem formunu elde edelim:

$$\Delta_{10}(v) = 2.7v^{(\lambda+1.1)10} + (1 + 0.5k_p)v^{210} + 0.5k_i \quad (13)$$

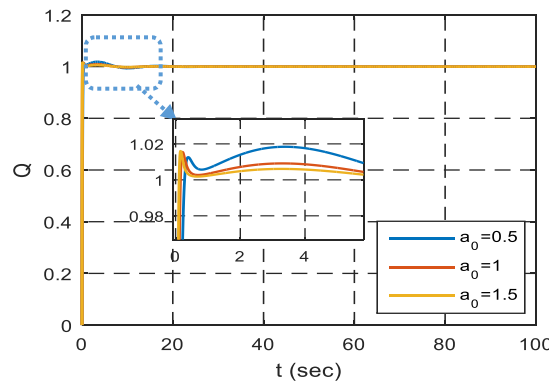
V-alanında ifade edilmiş bu polinomun köklerini hesaplayarak minimum açılı kökler her optimizasyon adımında belirlenir. Optimizasyon sonucunda v-alanı içerisinde üç farklı hedef açısına göre belirlenen PI denetçi tasarımları Tablo 1 de gösterilmektedir.

Tablo 1. Hedef noktalara göre tasarlanan kesir dereceli PI denetçi katsayıları

Hedef Açısına	Tasarlanan FOPI Denetleyiciler
$\phi_1 = \frac{5\pi}{80}$	$C(s) = 88.9329 + \frac{28.6258}{s^{1.6499}}$
$\phi_2 = \frac{3\pi}{40}$	$C(s) = 76.4805 + \frac{27.1963}{s^{1.3326}}$
$\phi_3 = \frac{7\pi}{80}$	$C(s) = 85.2047 + \frac{33.0425}{s^{1.1158}}$

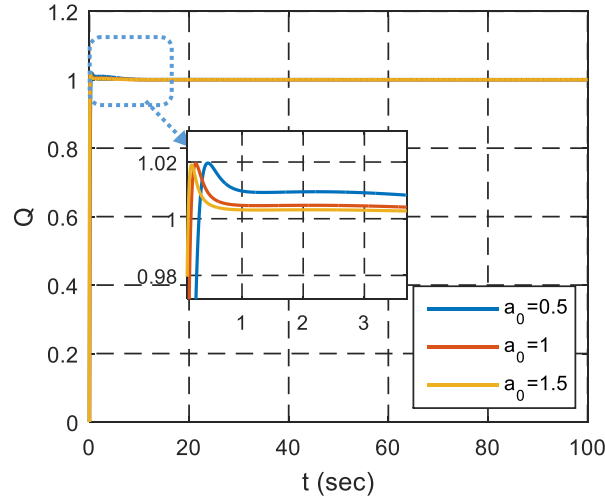
Tablo 1’de elde edilen tasarımlar için kontrol sistemlerinin dayanıklı kontrol performansını incelemek için nominal DC kazanç katsayısı  $a_0 = 0.5$ ’ın değeri sırasıyla 1 ve 1.5 olarak değiştirilerek plant fonksiyonu katsayıları pertürbe edilmiştir (farklılaştırılmış) ve kontrol sisteminin birim basamak cevaplarındaki değişimler Matlab/Simulink kontrol simülasyonları yapılarak incelenmiştir. Eğer  $a_0$  katsayısının değişimi sonucunda birim basamak cevabı çok fazla değişmiyor ise ilgili tasarımın  $a_0$  katsayı pertürbasyonuna karşı dayanıklı kontrol performansına sahip olacağı söylenebilir. Dolayısı ile  $a_0$  kazanç katsayısı pertürbasyonuna karşı birim basamak cevaplarının önemli performans parametrelerinin değişim göstermeme durumu incelenmektedir.

Şekil 4’de  $\phi_1$  hedef açısına göre elde edilen FOPI tasarımın farklı  $a_0$  katsayı değerleri için cevapları karşılaştırılmıştır. Burada  $a_0$  katsayısının nominal değeri olan 0.5 'den  $a_0 = 1$  ve  $a_0 = 1.5$  'a değiştirildiği durumlarda birim basamak cevabı performansı için önemli bir parametre olan maksimum aşım değeri incelenir ise bunun farklılaştığı görülmüştür. Burada  $\phi_1$  açısında yapılan tasarımın  $a_0$  parametre değişiminde maksimum aşımının biraz değişebildiği görülmüştür. Şekil 5’de  $\phi_2$  açısı için yapılan tasarımda  $a_0$  katsayısının 1 ve 1.5 değerlerine değişmesi sonucunda sistemin maksimum aşım değerinin dikkate değer ölçüde değişmediği görülmüştür. Her üç durumda maksimum aşım 0.02 değeri civarında kaldığı görülmektedir. Literatürde maksimum aşımın değişmediği duruma iso-damping özelliği adı verilmiştir (Chen ve ark., 2005). Iso-damping özelliği ile sistemin DC kazanç değişimleri karşısında maksimum aşımının korunması sağlanarak dayanıklı kontrol performansının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu örnekte  $\phi_2$  açısı için elde edilen FOPI denetçinin belirgin olarak iso-damping özelliğine sahip olduğunu görülmüştür. Şekil 6’da  $\phi_3$  için elde edilen FOPI denetçisinin  $a_0$  katsayısının değişimi durumunda maksimum aşım değerinin görünür bir şekilde farklılaştığı gözlenmiştir. Bu denetçi için iso-damping özelliği etkin değildir. Bu sonuçlardan görüldüğü üzere bazı hedef açıları sahip tasarımlar dayanıklı birim basamak cevabı performansı sunabilirken diğer açılar için yapılan tasarımlar aynı ölçüde dayanıklı performans sergileyememiştir. Bu örnekte  $\phi_2$  hedef açısına göre yapılan tasarımların iso-damping özelliği gösterebildiği ve dayanıklı kontrol performansı sunabildiği görülmüştür.

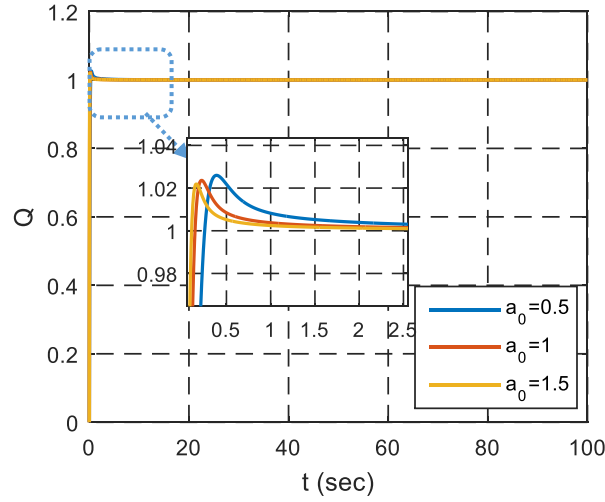


Şekil 4.  $\phi_1$  hedef noktasına göre tasarlanan FOPI denetçinin farklı  $a_0$  katsayısı değerlerinde birim basamak cevapları



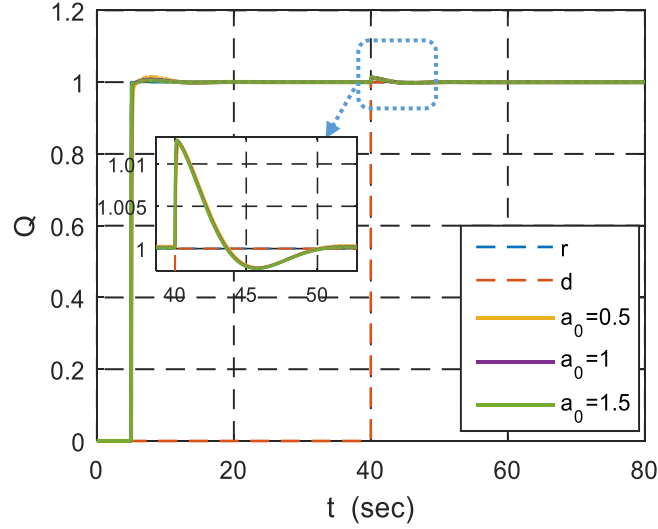


Şekil 5.  $\phi_2$  hedef noktasına göre tasarlanan FOPI denetçinin farklı  $a_0$  katsayısı değerlerinde birim basamak cevapları

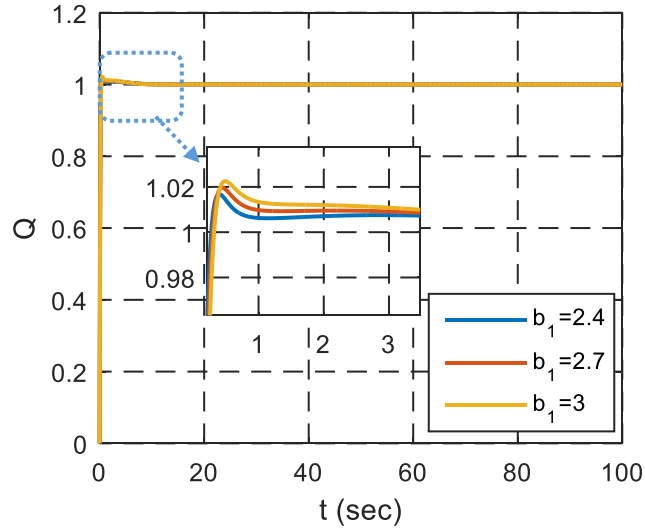


Şekil 6.  $\phi_3$  hedef noktasına göre tasarlanan FOPI denetçinin farklı  $a_0$  katsayısı değerlerinde birim basamak cevapları

Diğer bir dayanıklı kontrol kriteri bozucu dışlama performansıdır. Şekil 7'de görülen simülasyon sonucunda  $\phi_2$  hedef açısına göre elde edilen FOPI tasarımı için bozucu performansı incelenmiştir. Simülasyonun 40. saniyesinde birim basamak giriş bozucu işaretin plant girişine uygulanmıştır. Şekilde görüldüğü üzere hem  $a_0$  değişimi hem de bozucu işaret uygulanmasına karşın sistem cevabının dikkate değer bir değişim göstermediği ve dayanıklı kontrol performansı sergileyebildiği görülmektedir. Sistem bileşenlerinin yaşlanması ve işlevlerinin bozulması durumunda bu sistem dinamiklerinde ve dolayısı ile sistem modelinin karakteristik denkleminde değişimlere yol açabilmektedir. Sistem dinamiğinde oluşabilecek değişimlerin kontrol performansına etkilerini incelemek için Şekil 8'de  $b_1$  parametresi nominal değeri olan 2.7'den 3 ve 2.4 değerlerine değiştirilmiştir. Bu değişim karşısında kontrol sisteminin birim basamak cevabı incelenmiş ve sistemin birim basamak performansının dikkate değer ölçüde etkilenmediği görülmektedir. Bu sonuçlar  $\phi_2$  hedef açısına göre yapılan FOPI tasarımının DC kazanç değişimlerine, çevresel bozululara ve sistemin karakteristik denklemini etkileyebilen yapısal değişimlere karşı belirli düzeylerde dayanıklı kontrol performansı sağlayabileceğini göstermiştir.



Şekil 7.  $\phi_2$  hedef noktasına göre tasarlanan FOPI denetçinin farklı  $a_0$  katsayısı değerlerinde bozuculara karşı sistem cevapları



Şekil 8.  $\phi_2$  hedef noktasına göre tasarlanan FOPI denetçinin zaman sabiti  $b_1$  katsayısı değişiminde birim basamak cevapları

**Örnek 2:** Aşağıda verilen kesir dereceli plant fonksiyonu için kesir dereceli PI denetçi katsayılarını Şekil 3’de verilen v-düzlemi kutup dağılımı sağlamak üzere belirleyelim.

$$G(s) = \frac{1}{3.6s^{0.5} + 2.3} \quad (14)$$

Verilen plant fonksiyonu için Denklem (8) kullanılarak oluşturulan sistemin karakteristik denklem:

$$\Delta(s) = 3.6s^{(\lambda+0.5)} + (2.3 + 1k_p)s^\lambda + 1k_i \quad (15)$$

Kesir dereceli karakteristik denklemde  $s = v^{10}$  dönüşümü uygulanarak genişletilmiş tamsayı dereceli karakteristik denklem aşağıdaki verildiği gibi elde edilir:

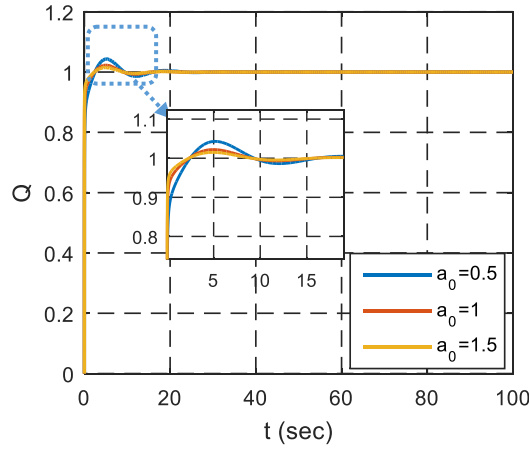
$$\Delta_{10}(v) = 3.6v^{(\lambda+0.5)10} + (2.3 + 1k_p)v^{\lambda 10} + 1k_i \quad (16)$$

Tam sayı dereceli karakteristik polinom kökleri v-alanı olarak belirlenen kararlı bölgeye taşınmasını sağlayacak olan denetçi katsayıları genetik algoritma ile gerçekleştirilen optimizasyonla belirlenmiştir. Optimizasyon sonucunda v-alanı içerisinde üç farklı hedef açığa göre belirlenen PI denetleyici katsayıları Tablo 2 de gösterilmektedir.

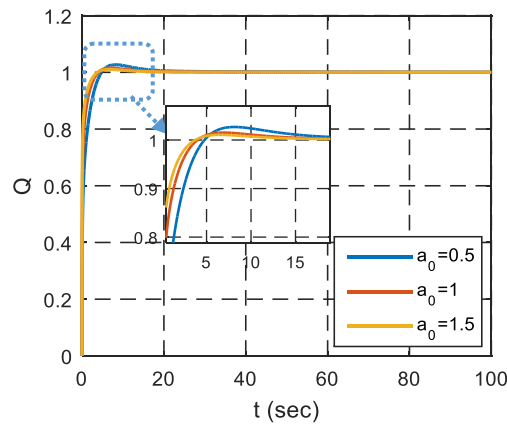
Tablo 2. Hedef noktalara göre tasarlanan kesir dereceli PI denetçi katsayıları

Hedef Açısına	Tasarlanan FOPI Denetleyiciler
$\phi_1 = \frac{5\pi}{80}$	$C(s) = 94.4540 + \frac{31.3671}{s^{1.6298}}$
$\phi_2 = \frac{3\pi}{40}$	$C(s) = 17.9486 + \frac{8.0963}{s^{1.1082}}$
$\phi_3 = \frac{7\pi}{80}$	$C(s) = 41.6449 + \frac{15.9540}{s^{1.3420}}$

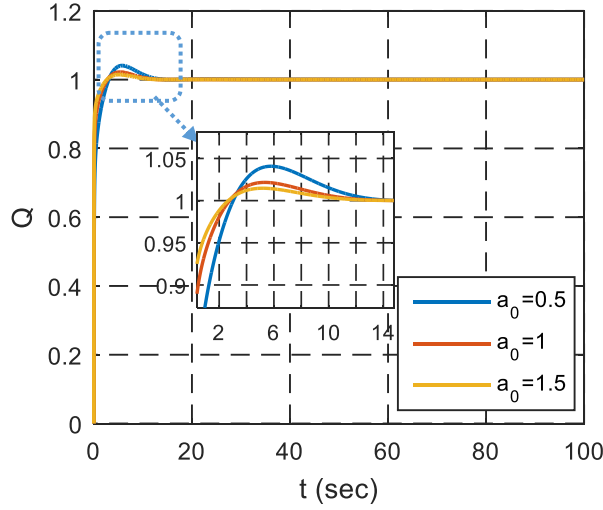
Tablo 2’de elde edilen tasarımlar için sistemlerin dayanıklı kontrol performansını incelemek için nominal DC kazanç katsayısı  $a_0 = 1$  değeri 0.5 ve 1.5 olarak değiştirilerek plant fonksiyonu pertürbe edilmiştir ve kontrol sisteminin birim basamak cevaplarındaki değişimler incelenmiştir.



Şekil 9.  $\phi_1$  hedef noktasına göre tasarlanan FOPI denetçinin farklı  $a_0$  katsayısı değerlerinde birim basamak cevapları



Şekil 10.  $\phi_2$  hedef noktasına göre tasarlanan FOPI denetçinin farklı  $a_0$  katsayısı değerlerinde birim basamak cevapları



**Şekil 11.**  $\phi_3$  hedef noktasına göre tasarlanan FOPI denetçinin farklı  $a_0$  katsayısı değerlerinde birim basamak cevapları

Şekil 9, 10 ve 11'da farklı hedef açıları için tasarlanan FOPI denetçinin  $a_0$  katsayısındaki değişim karşısında birim basamak cevapları incelenmiştir. Şekil 8'de  $\phi_2$  için elde edilen tasarımın maksimum aşım noktasının  $a_0$  değişiminden daha az etkilendiği ve en fazla iso-damping özelliğinin bu örnekte yine  $\phi_2$  açısında elde edilebileceği görülmüştür.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada kesir dereceli sistemlerin kesir dereceli PI denetçi ile minimum açılı kutup yerleşim yöntemi ile v-alanında kararlılaştırılması incelenmiştir. Minimum açılı kutup yerleşiminde hedef açı seçiminin dayanıklı kontrol performansını etkilediği iso-damping özelliği incelenerek gösterilmiştir. Iso-damping özelliği kesir dereceli denetçilerin kontrol performansının iyileştirilmesi yönünde sunduğu en önemli avantajlardan biridir (Chen ve ark., 2005; Monje ve ark., 2008). Elde edilen bulgular ışığında gelecekte geliştirilmesi planlanan v-alanı denetçi tasarım yöntemlerinde hedef açı seçiminin kontrol performansını belirleyen önemli bir parametre olacağı görülmüştür. Dolayısı ile gelecek çalışmalarda v-alanı denetçi tasarımlarında hedeflenen kontrol performansı için hedef açının optimal belirlenmesi probleminin gündeme geleceği görülmüştür. İncelenen örnek tasarımlarda  $\phi_2 = \frac{3\pi}{40}$  hedef açısına göre yapılan FOPI denetçi tasarımlarının iso-damping özelliği sağlanması bakımından anlamlı bir tasarım açısı olduğu görülmüştür.

V-alanı kesir dereceli denetçi tasarımı henüz gelişmekte olan bir konudur. Bu çalışma, v-alanı optimal denetçi tasarımı probleminde bir bakış açısı sunması bakımından ayrıca bir öneme sahiptir. Gelecek çalışmalarda v-düzleminde FOPID denetçi tasarımı ve performans değerlendirmeleri incelenmelidir.

#### Kaynakça

- Alagoz, B.B. (2018). Fractional order linear time invariant system stabilization by brute-force search, *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, 40(5), 1447–1456. Doi: 10.1177/0142331216685391
- Alagoz, B.B. , Yeroglu, C. , Senol B. , and Ates, A. (2015). Probabilistic robust stabilization of fractional order systems with interval uncertainty, *ISA Transactions*, 57, 101-110. Doi: 10.1016/j.isatra.2015.01.003
- Alagoz, B.B., Alisoy, G., Alagoz, S., Alisoy, H. (2017). A note on applications of time-domain solution of Cole permittivity models. *Optik*, 139, 272-282. Doi: 10.1016/j.ijleo.2017.04.010
- Chen, Y.Q. , Ahn, H.S. and Podlubny, I. (2006). Robust stability check of fractional order linear time invariant systems with interval uncertainties, *Signal Processing*, 86, 2611-2618. Doi: 10.1109/ICMA.2005.1626549
- Chen, Y.Q. , Hu, C.H. and Moore, K.L. (2003). Relay feedback tuning of robust PID controllers with iso-damping Property, in *42nd IEEE Conference on Decision and Control*, Maui, Hawaii.
- Chen Y.Q., Moore K.L., (2005). Relay feedback tuning of robust PID controllers with iso-damping property, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part B*, 35, 23-31. Doi: 10.1109/TSMCB.2004.837950
- Chen, Y.Q. , Petras, I. and Xue, D. (2009). Fractional Order Control - A Tutorial, *American Control Conference*, Missouri, USA, 1397-1411. Doi: 10.1109/ACC.2009.5160719
- Cole, K.S., Cole, R.H. (1941). Dispersion and absorption in dielectrics - I. alternating current characteristics, *Journal of Chemical Physics*, 9, 341-351. Doi: 10.1063/1.1750906
- El-Sayed, A.M. (1996). Fractional-order diffusion-wave equation. *International Journal of Theoretical Physics*, 35(2), 311-322.



- Hamamci, S.E. (2007). An algorithm for stabilization of fractional-order time delay systems using fractional-order PID controllers, *Automatic Control, IEEE Transactions on*, 52, 1964-1969. Doi: 10.1109/TAC.2007.906243
- Mainardi, F. (1996). Fractional relaxation-oscillation and fractional diffusion-wave phenomena. *Chaos, Solitons & Fractals*, 7(9), 1461-1477. Doi: 10.1016/0960-0779(95)00125-5
- Matignon, D. (1996). Stability results on fractional differential equations to control processing, in: Processings, *Computational Engineering in Systems and Application Multiconference, IMACS, IEEE-SMC*, 2, 963-968.
- Monje, C.A. , Vinagre, B.M., Feliu, V. , Chen, Y.Q. (2008). Tuning and auto-tuning of fractional order controllers for industry applications, *Control. Eng. Pract.* , 16( 7), 798-812. Doi: 10.1016/j.conengprac.2007.08.006
- Oustaloup, A. , Mathieu, B. (1999). *La commande CRONE: du scalaire au multivariable*, HERMES, Paris.
- Petras, I. (2009). Stability of Fractional-order systems with rational orders: A Survey, *Fractional Calculus and Applied Analysis*, 12, 269-298.
- Podlubny, I. (1999). Fractional-order systems and  $PI^\lambda D^\mu$ -controllers, *IEEE Trans. Automatic Control*, 44(1), 208-214.
- Radwan, A.G. , Soliman, A.M., Elwakil, A.S. and Sedeek, A. (2009). On the stability of linear systems with fractional-order elements, *Chaos, Solitons & Fractals*, 40, 2317-2328. Doi: 10.1016/j.chaos.2007.10.033
- Senol, B. , Ates, A. , Alagoz, B.B. and Yeroglu, C. (2014). A numerical investigation for robust stability of fractional-order uncertain systems, *ISA transactions*, 53, 189-198. Doi: 10.1016/j.isatra.2013.09.004
- Senol, B. and Yeroglu, C. (2012). Robust stability analysis of fractional order uncertain polynomials, *In Proceedings of the 5th IFAC Workshop on Fractional Differentiation and its Applications*.
- Tan, N. , Kaya, I. , Yeroglu, C. and Atherton, D.P. (2006). Computation of stabilizing PI and PID controllers using the stability boundary locus, *Energy Conversion and Management*, 47, 3045-3058. Doi: 10.1016/j.enconman.2006.03.022
- Tan, N. , Ozguven, O.F. and Ozyetkin, M.M. (2009). Robust stability analysis of fractional order interval polynomials, *ISA transactions*, 48, 166-172. Doi: 10.1016/j.isatra.2009.01.002
- Tufenkci, S., Senol, B., Alagoz, B.B. (2018). Stabilization of Fractional Order PID Controllers for Time-Delay Fractional Order Plants by Using Genetic Algorithm. *International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing IDAP 2018*, Malatya, Turkey, 1-4. Doi: 10.1109/IDAP.2018.8620770
- Xue, D., Chen, Y.Q. (2002). A comparative introduction of four fractional order controllers. *4th World Congress on Intelligent Control and Automation*, 3228-3235. Doi: 10.1109/WCICA.2002.1020131



# An Efficient Synthesis of Chiral Catalyst: Application in Enantioselective Michael Addition Reactions

Hayriye Nevin Genç<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Necmettin Erbakan University, A. K. Education Faculty, Department of Science Education, Konya, Turkey (ORCID: 0000-0003-3240-0714)

(İlk Geliş Tarihi 30 Temmuz 2019 ve Kabul Tarihi 27 Eylül 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.598343)

**ATIF/REFERENCE:** Genç, H. N. (2019). An Efficient Synthesis of Chiral Catalyst: Application in Enantioselective Michael Addition Reactions. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 20-28.

## Abstract

Asymmetric synthesis, also called stereoselective synthesis, chiral synthesis or enantioselective synthesis, is a form of organic synthesis which presents one or more new elements of chirality. Use of catalysts is one of the most effective methods preferred by the researchers in recent years. It causes to the preferential formation of a stereoisomer rather than a constitutional isomer. In this study, tetraoxocalix[2]arene[2]triazine was synthesized firstly by using resorcinol and cyanuric chloride and then this starting material was derivatized with (*R*)-(-)-2-phenylglycinol to obtain tetraoxocalix[2]arene[2]triazine based chiral compound. Characterization of tetraoxocalix[2]arene[2]triazine was done by <sup>1</sup>H and <sup>13</sup>C NMR spectroscopy which is depicted in literature. Then, new organocatalyst, which possess an amino and a hydroxyl group, was designed and synthesized. The structure of the receptor characterized by FTIR, <sup>1</sup>H spectroscopy, <sup>13</sup>C NMR spectroscopy, optical rotation and elemental analysis measurement was also included. The newly prepared tetraoxocalix[2]arene[2]triazine derivative was employed as a chiral ligand in the enantioselective Michael addition of dimethylmalonate to conjugated nitroalkenes and good to excellent enantioselectivities were obtained. Various factors, (solvent, temperature, catalyst %) were examined and the reactions were optimized. The best condition for the Michael addition reaction was determined as room temperature, toluene as solvent and 10 mol% of heteroatom-bridged calixaromatic based chiral catalyst as organocatalyst loading. The catalytic efficiency of the chiral catalyst was analyzed by HPLC using chiral columns. The corresponding adducts were generally obtained in (*S*)-forms with great yields (up to 93%) and enantioselectivities (up to 95% *ee*).

**Keywords:** Asymmetric synthesis, Organocatalysis, Michael addition, Stereoselectivity

## Etkili Bir Kiral Katalizör Sentezi: Enantiyoselektif Michael Reaksiyonlarında Kullanılması

### Öz

Kiral sentez, enantiyoselektif sentez veya stereoselektif sentez olarak da adlandırılan asimetrik sentez, stereoseçici olarak bir veya daha fazla kiral bileşiklerin oluşturulmasını sağlayan organik sentez biçimidir. Bir molekülün farklı enantiyomerleri veya diastereomerleri çoğu zaman farklı biyolojik aktiviteye sahip olduğu için asimetrik sentez özellikle ilaç endüstrisinde ve organik kimya alanında önemlidir. Kiral katalizör kullanımı ise, son yıllarda araştırmacılar tarafından tercih edilen etkili yöntemlerden birisi olup; normal şartlarda rasemik karışım şeklinde ürün veren bir tepkimeye etki ederek, ağırlıklı olarak bir stereoisomeri elde etmeye yönelik bir stratejidir. Bu çalışmada ilk önce tetraoksakaliks[2]aren[2]triazin resorsinol ve siyanürik klorid kullanılarak sentezlendi ve sonra bu başlangıç maddesi (*R*)-(-)-2-fenilglisinol ile reaksiyona sokularak tetraoksakaliks[2]aren[2]triazin bazlı kiral bir bileşik elde edildi. Tetraoksakaliks[2]aren[2]triazinin karakterizasyonu, literatürde bulunan <sup>1</sup>H ve <sup>13</sup>C NMR spektroskopi değerleri ile karşılaştırılarak yapıldı. Daha sonra, hidroksil ve amino grubuna sahip yeni bir organokatalizör tasarlandı ve sentezlendi. Yeni katalizörün yapısı <sup>1</sup>H ve

\* Corresponding Author: Necmettin Erbakan University, A. K. Education Faculty, Department of Science Education, Konya, Turkey, ORCID: 0000-0003-3240-0714, hngenc@erbakan.edu.tr

$^{13}\text{C}$  NMR spektroskopisi, elemental analiz ve çevirme açısı teknikleriyle aydınlatıldı. Sentezlenen kiral bileşik dimetilmalonatın farklı nitroalkenlerle olan enantiyoselektif Michael katılma reaksiyonlarında katalizör olarak kullanıldı ve çok iyi enantiyoselektivite elde edildi. Reaksiyonu etkileyen farklı faktörler (çözücü, sıcaklık, katalizör yüzdesi) incelenerek reaksiyon şartları optimize edildi. En iyi reaksiyon şartları oda sıcaklığı, çözücü olarak toluen ve %10 mol katalizör olarak bulundu. Kiral katalizörün katalitik etkisi HPLC’de kiral kolonlar kullanılarak belirlendi. Reaksiyon sonucunda oluşan ürünler yüksek verim (%93) ve yüksek enantiyomerik fazlalık (%95) ile (*S*) formunda elde edildi.

**Anahtar Kelimeler:** Asimetrik sentez, Organokatalizör, Michael katılma, Stereoselektivite

## 1. Introduction

Chirality has an important place in the life of animals and plants, agriculture, medicine and chemical industry. Chiral compound synthesis methods are one of the most important follow-up areas of synthetic chemistry for the production of agricultural chemicals and functional materials in pharmaceuticals (Comelles et al., 2005; Harutyunyan et al., 2008; Sulzer-Mossé S and Alexakis, 2007). Generally, chirality introduces authenticity and a remarkable selectivity in the activities of the drug. In the case of an enantiomer active in the drug, the other enantiomer may be inactive, less active or toxic (Enders et al., 2006; Almasi et al., 2007).

Therefore it is a great importance to obtain products in enantiomeric purity. Generally, studies are about synthesizing single enantiomers of chiral molecules (Li et al., 2010; Genc and Sirit, 2018). There are three general ways that can be used for this purpose. The first of these; separation of racemic mixtures by different methods; the synthesis of single enantiomers using chiral auxiliaries and the third route; is the use of chiral catalysts during the synthesis of chiral molecules. In all three methods, the goal is to realize asymmetric synthesis of molecules as efficiently as possible in an enantiospecific, high yield and as cheap as possible (Tsakos et al., 2012; Tsogoeva, 2007; Ma et al., 2010).

Organocatalysts are organic compounds that accelerate chemical reactions. Due to their function in organic synthesis, the enantioselective Michael addition reactions catalyzed by organocatalysts have progressed considerably and are gaining in importance in recent times (Yalalov et al., 2006; Lu et al., 2012; Hayashi et al., 2005). Asymmetric conjugate addition reactions in which active methylene is used as an acceptor of the donor and  $\alpha,\beta$ -unsaturated compounds are among the most important of the carbon-carbon and carbon-heteroatom bond forming reactions (Naziroglu et al., 2012; Mase et al., 2006; Mase et al., 2004; Liu et al., 2013).

Today, it is obvious that the advantages of asymmetric organocatalysis creates a challenging research area (Tsandi et al., 2009; Nugent et al., 2011; Palomo et al., 2006; Pansare and Pandya, 2006). Hence, the importance of using chiral catalysts has been growing. The increased possibility of the synthesis of enantiopure intermediates for the production of pharmaceuticals keeps the eyes on organocatalysis. There are also so many advantages such as shorter reaction duration, lower impurity and inexpensive processes (Yoshida et al., 2011; Dong et al., 2012; Naziroglu and Sirit, 2016).

Tetraoxacalix[2]arene[2]triazine derivatives bearing different functionalities have also reported as asymmetric organocatalysts recently (Genc et al., 2019a; Genc et al., 2019b; Genc, 2019). In the first part of study new tetraoxa calix[2]arene[2]triazine derivative **5** was designed and synthesized. After having synthesized the chiral catalyst, trans- $\beta$ -nitrostyrene (**6**) was initially reacted with dimethyl malonate (**7**) using **5** to explore the catalytic properties of the product.

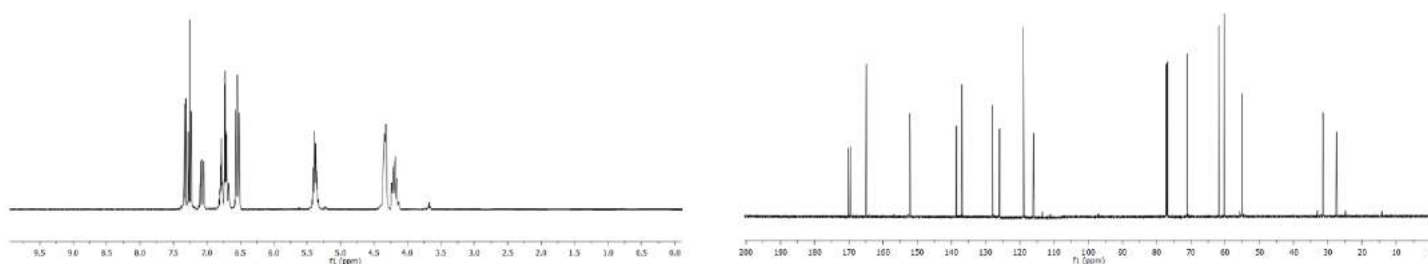
In the second part of the study, asymmetric Michael Addition reaction were optimized by testing chiral catalyst and solvent effect, reaction temperature as well as catalyst loading. These optimized parameters were used for the reaction of asymmetric Michael addition of **7** to various aromatic nitroalkenes affording the Michael adducts **8a-8l** in 85-93% yields and with excellent enantioselectivities (78-95%). The synthesis and application of calix[2]arene[2]triazine (*R*)-(+)-2-Phenylglycinol derivative is first reported in asymmetric Michael reaction.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Synthesis of compound 5

Tetraoxacalix[2]arene[2]triazine **4** was synthesized following a method published by Wang & Yang (2004) and Bozkurt & Türkmen (2016). A mixture of (*R*)-(-)-2-phenylglycinol (1.1 mmol) and *N,N*-Diisopropylethylamine (2.2 mmol) in tetrahydrofuran (20 mL) was added to a solution of compound **4** (0.5 mmol) in THF (20 mL). The mixture was heated at reflux for 18-20 h, after which time the THF was evaporated until solid remains. The remaining mixture was purified by column chromatography technique using hexane/ethyl acetate (1:8, v/v). Product **5**  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ ) and  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ ) spectra were shown in figure 1.

**Compound 5** Yellow crystalline solid; 71% yield;  $[\alpha]_{\text{D}}^{20} + 63.90$  (*c* 1,  $\text{CHCl}_3$ ); mp 138-140 °C; IR ( $\text{cm}^{-1}$ ): 3392, 3291, 2951, 1577, 1375;  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ ):  $\delta = 7.38-7.34$  (m, 2H), 7.32-7.25 (m, 4H), 7.12-7.05 (m, 2H), 6.79-6.66 (m, 6H), 6.62-6.51 (m, 4H), 5.40-5.33 (m, 2H), 4.35-4.29 (m, 2H), 4.25-4.16 (m, 2H), NH and OH-signals not determined;  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ ):  $\delta = 171.43, 169.13, 165.73, 152.13, 139.40, 138.60, 128.31, 126.79, 119.28, 116.27, 71.88, 62.00, 60.50, 55.90, 31.58, 27.90$ ; Anal. Calcd. for  $\text{C}_{34}\text{H}_{28}\text{N}_8\text{O}_6$  (644.63): C, 63.34; H, 4.37; N, 17.38%. Found: C, 63.18; H, 4.45; N, 17.22%.

Figure 1. Product **5**  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ ) and  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ ) spectra

## 2.2. Typical procedure for Michael addition reactions

Catalyst **5** (0.1 equiv.) was added to a stirred solution of *trans*- $\beta$ -nitrostyrene (1.0 equiv.) and dimethyl malonate (3.0 equiv.) in toluene (0.2 mL) at r.t. After mixing for 36-48 hours, the solid residue was purified (elution gradient: EtOAc: Hexane = 1:10) to afford desired Michael adduct **8a-8l**. Products HPLC conditions are shown in the Table 1 and FTIR,  $^1\text{H}$  NMR and  $^{13}\text{C}$  NMR values are shown in Table 2.

Table 1. Product **8a-8l** HPLC conditions

Product	Column	Hexane/ 2-propanol	Flow rate (mL/min)	$t_R$ (minor) (min)	$t_R$ (major) (min)
<b>8a</b>	AD-H	90:10	1.0	18.2	29.5
<b>8b</b>	AD-H	90:10	1.0	19.2	12.5
<b>8c</b>	OD-H	90:10	1.0	20.8	23.1
<b>8d</b>	AD-H	75:25	1.5	7.5	10.9
<b>8e</b>	AD-H	70:30	1.0	8.1	10.3
<b>8f</b>	AD-H	70:30	1.0	7.9	14.0
<b>8g</b>	OD-H	70:30	0.5	15.3	19.5
<b>8h</b>	OD-H	70:30	0.5	24.1	28.2
<b>8i</b>	AD-H	70:30	1.0	11.6	19.3
<b>8j</b>	OD-H	70:30	0.9	13.9	20.6
<b>8k</b>	AD-H	75:25	1.0	9.9	14.0
<b>8l</b>	OD-H	85:15	0.5	35.2	39.8

Table 2. Product **8a-8l** FTIR, <sup>1</sup>H NMR (400 MHz, CDCl<sub>3</sub>) and <sup>13</sup>C NMR (100 MHz, CDCl<sub>3</sub>) spectroscopy values.

<b>8a</b>	IR (cm <sup>-1</sup> )	2942, 1713, 1542, 1485, 1435, 1365, 1241, 1055, 982, 744, 675
	<sup>1</sup> H NMR	7.27–7.16 (m, 5H), 4.91–4.83 (m, 2H), 4.21–4.18 (m, 1H), 3.82 (d, <i>J</i> = 8.9 Hz, 1H), 3.72 (s, 3H), 3.48 (s, 3H)
	<sup>13</sup> C NMR	168.7, 168.2, 137.5, 129.9, 129.6, 128.9, 78.6, 55.8, 54.3, 53.8, 44.0
<b>8b</b>	IR (cm <sup>-1</sup> )	2943, 1724, 1541, 1421, 1144, 1009, 732
	<sup>1</sup> H NMR	7.51–7.49 (m, 1H), 7.21–7.11 (m, 2H), 7.10–7.02 (m, 1H), 5.04–4.99 (m, 1H), 4.90–4.85 (m, 1H), 4.70–4.66 (m, 1H), 4.00 (d, <i>J</i> = 8.1 Hz, 1H), 3.65 (s, 3H), 3.58 (s, 3H)
	<sup>13</sup> C NMR	168.6, 168.0, 136.1, 134.9, 131.8, 128.8, 125.6, 76.5, 54.1, 53.2, 42.1
<b>8c</b>	IR (cm <sup>-1</sup> )	672, 770, 810, 996, 1069, 1260, 1371, 1478, 1549, 1719, 2720, 2819, 2961
	<sup>1</sup> H NMR	7.53–7.49 (m, 2H), 7.30–7.25 (m, 2H), 5.01–4.92 (m, 2H), 4.34–4.27 (m, 1H), 3.91 (d, <i>J</i> = 8.9 Hz, 1H), 3.81 (s, 3H), 3.67 (s, 3H)
	<sup>13</sup> C NMR	166.8, 166.1, 137.5, 131.6, 130.7, 128.5, 125.8, 122.0, 76.1, 53.9, 52.4, 52.0, 41.8
<b>8d</b>	IR (cm <sup>-1</sup> )	2965, 2931, 1763, 1551, 1493, 1441, 1352, 1165, 1019, 836
	<sup>1</sup> H NMR	7.40–7.37 (m, 2H), 7.06–7.04 (m, 2H), 4.87–4.75 (m, 2H), 4.18–4.11 (m, 1H), 3.78 (d, <i>J</i> = 8.9 Hz, 1H), 3.71 (s, 3H), 3.52 (s, 3H)
	<sup>13</sup> C NMR	167.0, 166.4, 134.3, 131.6, 128.9, 121.9, 76.5, 53.7, 52.6, 52.1, 41.8
<b>8e</b>	IR (cm <sup>-1</sup> )	2941, 2842, 1721, 1542, 1482, 1422, 1246
	<sup>1</sup> H NMR	7.37–7.26 (m, 2H), 7.20–7.08 (m, 2H), 4.99 (d, <i>J</i> = 6.9 Hz, 2H), 4.54–4.48 (m, 1H), 4.06 (d, <i>J</i> = 9.6 Hz, 1H), 3.79 (s, 3H), 3.62 (s, 3H)
	<sup>13</sup> C NMR	167.2, 165.8, 160.6, 158.1, 130.1, 123.2, 121.9, 115.0, 74.5, 74.1, 51.9, 51.2, 50.1, 36.6
<b>8f</b>	IR (cm <sup>-1</sup> )	3023, 2965, 2921, 1748, 1720, 1568, 1486, 1395, 915, 748, 663
	<sup>1</sup> H NMR	7.20–7.15 (m, 2H), 6.98–6.94 (m, 2H), 4.88–4.74 (m, 2H), 4.21–4.16 (m, 1H), 3.75 (d, <i>J</i> = 9.1 Hz, 1H), 3.70 (s, 3H), 3.51 (s, 3H)
	<sup>13</sup> C NMR	168.6, 164.3, 162.1, 132.6, 132.1, 130.0, 114.9, 114.1, 76.6, 53.8, 52.2, 51.1, 41.2
<b>8g</b>	IR (cm <sup>-1</sup> )	2912, 2241, 1785, 1541, 1488, 1376, 1239, 1145, 1081, 900, 721, 633
	<sup>1</sup> H NMR	7.24–7.18 (m, 1H), 7.11 (dd, <i>J</i> = 1.7 Hz, 7.9 Hz, 1H), 6.85–6.81 (m, 2H), 5.02–4.95 (m, 1H), 4.86–4.81 (m, 1H), 4.38–4.32 (m, 1H), 4.14 (d, <i>J</i> = 9.8 Hz, 1H), 3.78 (s, 3H), 3.69 (s, 3H), 3.47 (s, 3H)
	<sup>13</sup> C NMR	169.1, 168.4, 158.1, 131.2, 129.7, 124.4, 121.6, 112.0, 77.3, 56.2, 53.6, 53.1, 41.1
<b>8h</b>	IR (cm <sup>-1</sup> )	2942, 2861, 1752, 1622, 1571, 1485, 1273, 106
	<sup>1</sup> H NMR	7.22–7.18 (m, 1H), 6.79–6.76 (m, 3H), 4.90–4.81 (m, 2H), 4.21–4.14 (m, 1H), 3.85 (d, <i>J</i> = 9.0 Hz, 1H), 3.74 (s, 3H), 3.71 (s, 3H), 3.53 (s, 3H)
	<sup>13</sup> C NMR	168.1, 158.3, 136.1, 128.9, 118.2, 111.6, 76.0, 54.0, 53.2, 52.1, 51.3, 41.3
<b>8i</b>	IR (cm <sup>-1</sup> )	3002, 2943, 2830, 1721, 1543, 1422, 1242, 1023
	<sup>1</sup> H NMR	7.10–7.05 (m, 2H), 6.78–6.75 (m, 2H), 4.84–4.73 (m, 2H), 4.15–4.09 (m, 1H), 3.76 (d, <i>J</i> = 9.1 Hz, 1H), 3.70 (s, 3H), 3.67 (s, 3H), 3.49 (s, 3H)
	<sup>13</sup> C NMR	169.7, 169.0, 161.2, 128.8, 115.6, 77.5, 54.0, 53.8, 52.6, 42.1
<b>8j</b>	IR (cm <sup>-1</sup> )	3005, 2943, 1720, 1542, 1423, 1345
	<sup>1</sup> H NMR	7.98 (dd, <i>J</i> = 1.3 Hz, 8.3 Hz, 1H), 7.64–7.60 (m, 1H), 7.55–7.51 (m, 1H), 7.46–7.44 (m, 1H), 5.20 (dd, <i>J</i> = 8.3 Hz, 14.0 Hz, 1H), 5.08 (dd, <i>J</i> = 4.4 Hz, 14.1 Hz, 1H), 4.80 (td, <i>J</i> = 4.6 Hz, 8.2 Hz, 1H), 4.28 (d, <i>J</i> = 8.0 Hz, 1H), 3.79 (s, 3H), 3.68 (s, 3H)
	<sup>13</sup> C NMR	169.7, 151.9, 135.3, 133.1, 131.3, 130.8, 127.5, 77.9, 55.4, 55.1, 39.5
<b>8k</b>	IR (cm <sup>-1</sup> )	3031, 2972, 2265, 1799, 1565, 1392, 1260, 1103, 915, 743, 665
	<sup>1</sup> H NMR	7.19–7.13 (m, 4H), 4.97–4.88 (m, 2H), 4.27 (dt, <i>J</i> = 5.4 Hz, 9.1 Hz, 1H), 3.89 (d, <i>J</i> = 9.2 Hz, 1H), 3.79 (s, 3H), 3.63 (s, 3H), 2.36 (s, 3H)
	<sup>13</sup> C NMR	168.8, 137.1, 132.0, 128.6, 126.5, 76.2, 53.6, 52.0, 51.6, 41.4, 20.0
<b>8l</b>	IR (cm <sup>-1</sup> )	3170, 2943, 2269, 1810, 1582, 1480, 1395, 922, 665
	<sup>1</sup> H NMR	7.36–7.33 (m, 2H), 7.23–7.20 (m, 2H), 4.97–4.86 (m, 2H), 4.29–4.24 (m, 1H), 3.86 (d, <i>J</i> = 9.1 Hz, 1H), 3.78 (s, 3H), 3.64 (s, 3H)
	<sup>13</sup> C NMR	169.4, 168.0, 135.4, 135.1, 130.1, 129.2, 78.0, 55.2, 54.0, 53.2, 43.5

### 3. Results and Discussion

Tetraoxacalix[2]arene[2]triazine **4** was synthesized by the reaction of resorcinol **1** with cyanuric chloride **2** in THF in two steps. Characterization of compound **4** was done by <sup>1</sup>H spectroscopy and <sup>13</sup>C NMR spectroscopy which is depicted in literature. After, compound **5** was synthesized by reacting **4** with 2.2 equiv of (*R*)-(-)-2-phenylglycinol respectively in 71% yield according to the

synthetic procedure shown in figure 2. The obtained products structures were also identified by  $^1\text{H}$  NMR,  $^{13}\text{C}$  NMR and FTIR spectroscopic techniques.

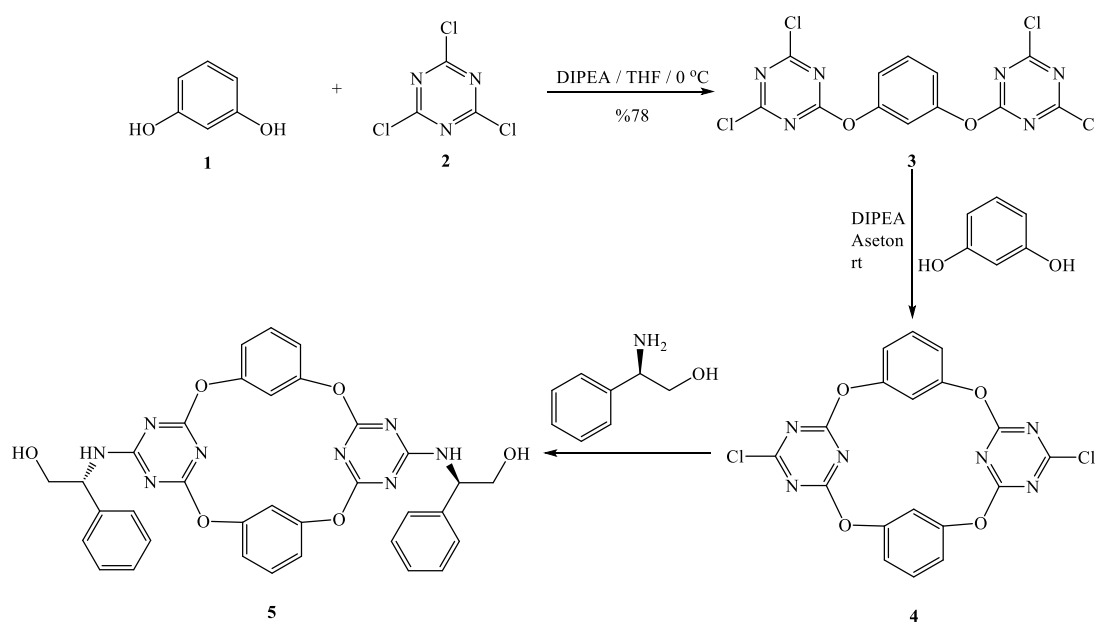


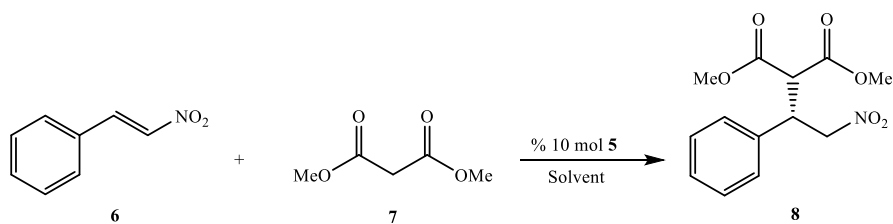
Figure 2. Procedure for the synthesis of chiral catalyst **5**

Investigation was started with dimethyl malonate and nitroalkenes as a role model reaction. At the first part, we tested the effect of the solvent for maximum enantioselectivities and yields using **5** (10 mol%). Solvents screening experiments were conducted with 12 different solvents. Among the solvents, toluene, *i*-PrOH and  $\text{CCl}_4$  gave appropriate results as compared to other solvents. Toluene was determined to be the best solvent among solvents for the reaction of dimethyl malonate and *trans*- $\beta$ -nitrostyrene (Table 3, entry 8).

As the second parameter, the effect of temperature was screened. Therefore the reaction was repeated at room temperature, 0 °C and 40 °C. The best values were observed at r.t. compared to at 0 °C and 40 °C. Reducing the reaction temperature from 25 °C to 0 °C, decreases enantioselectivity and yield as expected (Table 3, entry 13). When the temperature raised to 40 °C, in chemical yields and enantioselectivity drastic decrease was observed (Table 3, entry 14).

Finally, the effect of catalyst amount was studied on the reaction of dimethylmalonate to *trans*- $\beta$ -nitrostyrene, in order to determine the most optimal reaction conditions and the results indicated a bit loss in yields and stereoselectivities when catalyst loading percent increased to 15 mol%. It was observed that there was a decrease in terms of enantioselectivity from 95% to 92% when the amount of organocatalyst was increased 15 mol%. (Table 3, entry 15).



Table 3. Enantioselective Michael reaction of dimethylmalonate with *trans*- $\beta$ -nitrostyrene catalysed by **5**

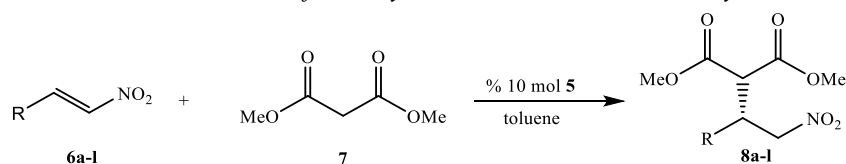
Entr	Catalyst	Solvent	Time (d)	Yield (%)	<i>ee</i> (%)
1	<b>5</b>	<i>i</i> -PrOH	3	90	92 ( <i>S</i> )
2	<b>5</b>	CCl <sub>4</sub>	3	88	90 ( <i>S</i> )
3	<b>5</b>	CHCl <sub>3</sub>	4	82	83 ( <i>S</i> )
4	<b>5</b>	DMF	4	79	81 ( <i>S</i> )
5	<b>5</b>	Hexane	4	74	88 ( <i>S</i> )
6	<b>5</b>	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	4	75	80 ( <i>S</i> )
7	<b>5</b>	THF	3	69	87 ( <i>S</i> )
8	<b>5</b>	Toluene	3	93	95 ( <i>S</i> )
9	<b>5</b>	EtOAc	3	80	81 ( <i>S</i> )
10	<b>5</b>	CH <sub>3</sub> CN	3	81	80 ( <i>S</i> )
11	<b>5</b>	MeOH	3	90	79 ( <i>S</i> )
12	<b>5</b>	Et <sub>2</sub> O	4	85	78 ( <i>S</i> )
13 <sup>a</sup>	<b>5</b>	Toluene	8	88	91 ( <i>S</i> )
14 <sup>b</sup>	<b>5</b>	Toluene	2	87	90 ( <i>S</i> )
15 <sup>c</sup>	<b>5</b>	Toluene	4	90	92 ( <i>S</i> )

<sup>a</sup> Reaction performed at 0 °C.

<sup>b</sup> Reaction performed at 40 °C

<sup>c</sup> 15 mol % catalyst was used.

As a result of all test reactions, the best conditions was determined as r.t., toluene as solvent and 10 mol% of heteroatom-bridged calixaromatic based chiral catalyst **5** as organocatalyst loading. Having established the reaction conditions, using nitroolefin compounds by possessing electron-withdrawing and electron-donating groups various products were synthesized, affording the desired Michael adducts **8a-8l** in 85-93% yields and with excellent enantioselectivities (78-95%) as demonstrated in Table 4.

Table 4. Enantioselective Michael reaction of dimethylmalonate with various nitrostyrenes with chiral catalyst **5**

Entry	Product	Time (d)	Yield (%)	ee (%)
1		3	93	95
2		3	85	78
3		4	88	87
4		4	90	93
5		3	88	80
6		3	90	91
7		3	85	87
8		4	88	87
9		4	90	89
10		4	88	87
11		4	90	89
12		4	89	88

## 4. Conclusion

In conclusion, a new type of tetraoxacalix[2]arene[2]triazine based chiral catalyst **5** was synthesized for the Michael reaction of dimethylmalonate to aromatic nitroalkenes. The optimized condition was found as 10 mol% chiral catalyst **5** in toluene at room temperature. From the results, the best yield (up to 93%) and enantiomeric excess (up to 95%) was obtained with *trans*- $\beta$ -nitrostyrene substrate.

## References

- Almasi, D., Alonso, D. A., Najera, C. (2007). Organocatalytic asymmetric conjugate additions. *Tetrahedron Asymmetry*, 18, 299–365.
- Bozkurt, S., Türkmen, M. B. (2016). New chiral oxo-bridged calix[2]arene[2]triazine for the enantiomeric recognition of  $\alpha$ -racemic carboxylic acids. *Tetrahedron Asymmetry*, 27, 443–447.
- Comelles, J., Moreno-Mañas, M., Vallribera, A. (2005). Michael additions catalyzed by transition metals and lanthanides species. A review. Part I. Transition metals. *ARKIVOC*, 9, 207–238.
- Dong, Z., Qiu, G., Zhou, H-B., Dong, C. (2012). Chiral squaramide as multiple H-bond donor organocatalysts for the asymmetric Michael addition of 1,3-dicarbonyl compounds to nitroolefins. *Tetrahedron Asymmetry*, 23, 1550–1556.
- Enders, D., Saint-Dizier, A., Lannou, M-I., Lenzen, A. (2006). The phospho-Michael addition in organic synthesis. *European Journal of Organic Chemistry*, 29–49.
- Genc, H. N., Sirit, A. (2018). Novel and highly efficient bifunctional calixarene thiourea derivatives as organocatalysts for enantioselective Michael reaction of nitroolefins with diketones. *Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry*, 90, 39–49.
- Genc, H. N. (2019). Enantioselective Michael reaction of anthrone catalyzed by chiral tetraoxacalix[2]arene[2]triazine derivatives. *RSC Advances*, 9, 21063–21069.
- Genc, H. N., Ozgun, U., Sirit, A. (2019). Chiral tetraoxacalix[2]arene[2]triazine-based organocatalysts for Enantioselective Aldol reactions. *Tetrahedron Letters*, 60, 1763–1768.
- Genc, H. N., Ozgun, U., Sirit, A. (2019). Design, synthesis and application of chiral tetraoxacalix[2]arene[2]triazine-based organocatalysts in asymmetric Michael addition reactions. *Chirality*, 31, 293–300.
- Harutyunyan, S. R., Hartog, T. D., Geurts, K., Minnaard, A. J., Feringa, B. L. (2008). Catalytic asymmetric conjugate addition and allylic alkylation with grignard reagents. *Chemical Reviews*, 108, 2824–2852.
- Hayashi, Y., Gotoh, H., Hayashi, T., Shoji, M. (2005). Diphenylprolinol silyl ethers as efficient organocatalysts for the asymmetric Michael reaction of aldehydes and nitroalkenes. *Angewandte Chemie International Edition*, 44, 4212–4215.
- Li, B-L., Wang, Y-F., Luo, S-P., Zhong, A-G., Li, Z-B., Du, X-H., Xu, D-Q. (2010). Enantioselective michael addition of aromatic ketones to nitroolefins catalyzed by bifunctional thioureas and mechanistic insight. *European Journal of Organic Chemistry*, 656–662.
- Liu, B., Han, X., Dong, Z., Lv, H., Zhou, H-B., Dong, C. (2013). Highly enantioselective Michael addition of 1,3-dicarbonyl compounds to nitroalkenes catalyzed by designer chiral BINOL–quinine–squaramide: efficient access to optically active nitroalkanes and their isoxazole derivatives. *Tetrahedron Asymmetry*, 24, 1276–1280.
- Lu, A., Hu, K., Wang, Y., Song, H., Zhou, Z., Fang, J., Tang, C. (2012). Enantioselective synthesis of trans-dihydrobenzofurans via primary amine-thiourea organocatalyzed intramolecular Michael addition. *The Journal of Organic Chemistry*, 77, 6208–6214.
- Ma, H., Liu, K., Zhang, F-G., Zhu, C-L., Nie, J., Ma, J-A. (2010). Chiral bifunctional thiourea-catalyzed enantioselective Michael addition of ketones to nitrodienes. *The Journal of Organic Chemistry*, 75, 1402–1409.
- Mase, N., Thayumanavan, R., Tanaka, F., Barbas III, C. F. (2004). Direct asymmetric organocatalytic Michael reactions of  $\alpha,\alpha$ -disubstituted aldehydes with  $\beta$ -nitrostyrenes for the synthesis of quaternary carbon-containing products. *Organic Letters*, 6, 2527–2530.
- Mase, N., Watanabe, K., Yoba, H., Takabe, K., Tanaka, F., Barbas III, C. F. (2006). Organocatalytic direct Michael reaction of ketones and aldehydes with  $\beta$ -nitrostyrene in brine. *Journal of the American Chemical Society*, 128, 4966–4967.
- Naziroglu, H. N., Durmaz, M., Bozkurt, S., Demir, A. S., Sirit, A. (2012). Application of L-prolinamides as highly efficient organocatalysts for the asymmetric Michael addition of unmodified aldehydes to nitroalkenes. *Tetrahedron Asymmetry*, 23, 164–169.
- Naziroglu, H. N., Sirit, A. (2016). Novel efficient bifunctional calixarene thiourea organocatalysts: synthesis and application in the direct enantioselective aldol reactions. *Tetrahedron Asymmetry*, 27, 201–207.
- Nugent, T. C., Shoaib, M., Shoaib, A. (2011). Practical access to highly enantioenriched quaternary carbon Michael adducts using simple organocatalysts. *Organic & Biomolecular Chemistry*, 9, 52–56.
- Palomo, C., Vera, S., Mielgo, A., Go´mez-Bengoa, E. (2006). Highly efficient asymmetric Michael addition of aldehydes to nitroalkenes catalyzed by a simple trans-4-hydroxypropylamide. *Angewandte Chemie International Edition*, 45, 5984–5987.
- Pansare, S. V., Pandya, K. (2006). Simple diamine and triamine-protonic acid catalysts for the enantioselective Michael addition of cyclic ketones to nitroalkenes. *Journal of the American Chemical Society*, 128, 9624–9625.
- Sulzer-Mossé, S., Alexakis, A. (2007). Chiral amines as organocatalysts for asymmetric conjugate addition to nitroolefins and vinyl sulfones via enamine activation. *Chemical Communications*, 30, 3123–3135.
- Tsakos, M., Kokotos, C. G., Kokotos, G. (2012). Primary amine-thioureas with improved catalytic properties for “difficult” Michael reactions: Efficient organocatalytic syntheses of (S)-Baclofen, (R)-Baclofen and (S)-Phenibut. *Advanced Synthesis & Catalysis*, 354, 740–746.
- Tsandi, E., Kokotos, C. G., Kousidou, S., Ragoussis, V., Kokotos, G. (2009). Sulfonamides of homoproline and dipeptides as organocatalysts for Michael and aldol reactions. *Tetrahedron*, 65, 1444–1449.
- Tsogoeva, S. B. (2007). Recent advances in asymmetric organocatalytic 1,4-conjugate additions. *European Journal of Organic Chemistry*, 11, 1701–1716.
- Wang, M-X., Yang, H-B. (2004). A General and high yielding fragment coupling synthesis of heteroatom-bridged calixarenes and the unprecedented examples of calixarene cavity fine-tuned by bridging heteroatoms. *Journal of the American Chemical Society*, 126, 15412–15422.

- Yalalov, D.A., Tsogoeva, S. B., Schmatz, S. (2006). Chiral thiourea-based bifunctional organocatalysts in the asymmetric nitro-Michael addition: A joint experimental-theoretical study. *Advanced Synthesis & Catalysis*, 348, 826–832.
- Yoshida, M., Sato, A., Hara, S. (2010). Asymmetric Michael addition of aldehydes to nitroalkenes using a primary amino acid lithium salt. *Organic & Biomolecular Chemistry*, 8, 3031–3036.



# Lazer Kaynaklı HSLA Sac Malzemelerde Geri Esnemenin Deneysel Araştırılması

Kadir Aydın<sup>1\*</sup>, İbrahim Karaağaç<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Simav Meslek Yüksekokulu, Kütahya, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5701-8058)

<sup>2</sup> Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6727-3650)

(İlk Geliş Tarihi 26 Ağustos 2019 ve Kabul Tarihi 27 Eylül 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.611073)

**ATIF/REFERENCE:** Aydın, K. & Karaağaç, İ. (2019). Lazer Kaynaklı HSLA Sac Malzemelerde Geri Esnemenin Deneysel Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 29-37.

## Öz

Bu çalışmada farklı güç parametrelerinde lazer kaynağı ile birleştirilen HSLA300 sac malzemelerin bükülme operasyonu sonrası geri esneme davranışına etki eden parametreler deneysel araştırılmıştır. Kaynak parametresi olarak kaynak gücü (1300, 1400 ve 1500 watt), proses parametresi olarak da kalıp açısı (15, 30, 45, 60 ve 75 derece) ve ütleme süresi (0, 10 ve 20 saniye) deney parametreleri olarak belirlenmiştir. Kaynaklı numunelerde kaynak bölgesindeki ani soğumaya bağlı olarak yüksek miktarda martenzit fazı gözlemlenmiştir. Ancak kaynak gücünün artmasıyla birlikte HSLA yapısındaki karbon ve mangan miktarının az olmasından dolayı sertlik miktarında ve geri esneme açısında azalma meydana gelmiştir. Deneysel çalışmalarda da lazer kaynak gücünün 100 watt artmasıyla geri esneme açısının ortalama 0,15 derece azaldığı gözlemlenmiştir. Kalıp açısındaki 15 dereceden 45 derece açığa kadar olan artışın bükme operasyonlarında geri esneme açısını ortalama 0,14 derece arttırdığı, 45 derece açıdan 75 derece açığa kadar artışın bükme operasyonlarında geri esneme açısını ortalama 0,52 derece azalttığı gözlemlenmiştir. Ütleme süresinin 10 saniye artmasıyla geri esneme açısının ortalama 0,14 derece azaldığı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Lazer kaynağı, Geri esneme, HSLA.

## The Experimental Investigation of Springback in Laser Welded HSLA Sheet Materials

### Abstract

In this study, the parameters that affect the springback behavior of HSLA300 sheet materials bonded with laser welding at different power parameters were investigated experimentally. Welding parameters (1300, 1400 and 1500 watts), die angle (15, 30, 45, 60 and 75 degrees) and holding time (0, 10 and 20 seconds) were determined as test parameters. A high amount of martensite phase was observed in welded samples due to sudden cooling in the weld zone. However, as the welding power increased, the amount of carbon and manganese in the HSLA structure was reduced, resulting in a decrease in the hardness amount and the bending angle. In experimental studies, it was observed that the springback angle decreased by 0.15 degrees with an increase of 100 watts of laser welding power. It has been observed that the increase in the die angle from 15 degrees to 45 degrees increases the bending angle in the bending operations by an average of 0.14 degrees. It was determined that the springback angle decreased by 0.14 degrees with an increase of 10 seconds holding time.

**Keywords:** Laser welding, Springback, HSLA.

\* Sorumlu Yazar: Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Simav Meslek Yüksekokulu, Kütahya, Türkiye, ORCID: 0000-0001-5701-8058, [kadir.aydin@dpu.edu.tr](mailto:kadir.aydin@dpu.edu.tr)

## 1. Giriş

Kaynak yapmak için kullanılan enerji kaynaklarından bir tanesi olan lazer ışınının diğer enerji kaynaklarından farklarından en önemlisi, kolaylıkla parça yüzeyinde istenilen noktaya yönlendirilebilmesidir. Bu sayede kaynak yapılacak bölgeye arzu edilen miktarda enerji yerel olarak uygulanabilmektedir. Lazer üreticiden çıkan yoğun enerjinin farklı optik malzemeler vasıtasıyla malzemelerin birleşme bölgesine odaklanarak bu bölgenin aşırı ısınma sonrasında eriyip iki malzemenin birleşmesi lazer kaynağı olarak adlandırılmaktadır (Jokinen, 2004). Lazer kaynağı, ergitme kaynak yöntemleri içerisinde yer almakta olup geleneksel ergitme kaynak yöntemlerine göre önemli farklılıklar göstermektedir. Lazer kaynağı geleneksel kaynak yöntemleriyle kıyaslandığında, kalın metalik parçalarının çok düşük ısı girdisi ile birleştirilmesini sağlaması ile ön plana çıkmaktadır (Pang ve ark., 2008). Ayrıca lazer ışınının temiz bir enerji kaynağı olması, kaynak işleminin dolgu malzemesi olmadan da gerçekleştirilebilmesi, kaynak hızının yüksek olması, lazer kaynağının otomasyona elverişli olması, benzer veya farklı malzemelerin birleştirilebilmesi lazer kaynağının diğer kaynak yöntemlerine göre önemli avantajlarıdır (Irving, 1997). Lazer üreten cihaz ve ışın iletimini sağlayan sistemin yüksek kurulum maliyeti ise lazer kaynağının en önemli dezavantajı olmaktadır (Karaaslan ve ark., 1998).

Sac metal şekillendirme operasyonları sonrası gözlemlenen geri esneme, şekillendirme işleminin akabinde yük boşaltımı esnasında bir sac malzemenin şeklinin elastik gerilmelerden dolayı değişime uğraması olarak tanımlanmaktadır (Schuler, 1998). Geri esneme davranışı şekillendirilen parçanın ölçüsel doğruluğunu etkilemekte olup sac şekillendirme operasyonlarında istenmeyen bir davranıştır. Geri esnemeye maruz kalan parça, şekillendirme sonrası boyutsal olarak istenilen ölçülerde olmadığından dolayı montaj sırasında problemlerle karşılaşmaktadır (Karaağaç ve ark., 2019). Sac metal şekillendirme operasyonlarında geri esneme davranışını malzemenin kalınlığı, ütüleme süresi, malzemenin hadde yönü, baskı kuvveti, bükme açısı, sıcaklık, zımba radyüsü, kalıp boşluğu gibi malzeme ve proses parametreleri etkilemektedir (Tekaslan ve ark., 2006). Lazer kaynağı geleneksel kaynak yöntemleriyle kıyaslandığında yüksek miktarda enerjinin rahat bir biçimde odaklanabilmesi ve lazer ışının kolaylıkla yönlendirilebilmesi sebebiyle son yıllarda endüstride tercih edilmektedir. Otomotiv üreticileri azalan enerji kaynakları ve artan çevre kirliliği problemlerinden dolayı yüksek dayanım/düşük ağırlık özelliklerine sahip HSS ailesine mensup yüksek dayanımlı düşük alaşımli (HSLA) çeliklerini tercih etmektedir. Souza ve Rolfe yaptıkları çalışmada çift fazlı (DP), üç fazlı (TRIP) ve yüksek dayanımlı düşük alaşımli (HSLA) çelik malzemelerinin baskı plakası kuvveti, sürtünme etkisi ve zımba radyüsü parametrelerinin geri esneme miktarına etkisini sonlu elemanlar methodunu kullanarak araştırmışlardır. Yapılan çalışmada geri esnemeye en az etki eden parametrenin zımba radyüsü olduğu belirlenmiştir. Baskı plakası kuvveti ve sürtünme etkisinin artmasıyla geri esnemenin azaldığı tespit edilmiştir (De Souza ve Rolfe, 2013). Panda ve Pawar zımba açısı, kalıp boşluğu, ön bükme işlemi ve hadde yönünün geri esnemeye etkisini deneysel ve sonlu elemanlar yöntemiyle araştırmışlardır. Çalışma sonucunda geri esnemeye en büyük etkinin zımba açısı ve kalıp boşluğu parametrelerinin olduğu gözlemlenmiştir (Panda ve Pawar, 2018). Mkaddem ve Saidane HSLA sac malzemeyi kenar bükme yöntemiyle şekillendirip geri esneme davranışlarını deneysel ve sonlu elemanlar yöntemiyle araştırmışlardır. Deneysel çalışmalar sonunda zımba radyüsünün geri esnemeyi belirleyen önemli bir parametre olduğu anlaşılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemiyle deneysel çalışmaların birbirini doğruladığı gözlemlenmiştir (Mkaddem ve Saidane, 2007). Dai ve diğerleri şekillendirme sonrasında malzemede oluşan hasarın geri esnemeye etkisini geliştirdikleri bir matematiksel model ile araştırmışlardır. Çalışmada HSLA sac malzeme ve U şekillendirme yöntemi kullanılmışlardır. Çalışma sonunda sertleşme üssünün, sürtünme katsayısının, şekillendirme kuvvetinin ve hasarın geri esnemeye önemli etkilerinin olduğu tespit edilmiştir (Dai ve ark., 2017). Geri esnemenin araştırıldığı diğer bir çalışmada Ghaei ve diğerleri doğrusal olmayan elastik yükleme ve boşaltma davranışını göz önünde bulundurarak, ileri yüksek mukavemet çeliklerinin geri esneme simülasyonunu yapmışlardır. Yükün boşaltılmasından sonra malzemenin doğrusal olmayan plastik deformasyon bölgesinin içine doğru esnediğini, yükleme üzerine ise malzemenin boşaltmanın aksine doğrusal olmayan elastik bölgeye doğru ivmelendiğini belirlemişlerdir (Ghaei ve ark., 2015).

Lazer kaynağı kullanılarak birleştirilen HSLA sac malzemelerde literatürde çeşitli araştırmalar da yapılmıştır. Oñoro ve Ranninger lazer kaynağı ile birleştirilmiş HSLA sac malzemelerin yorulma davranışını araştırmışlardır. Çalışma sonunda yorulma sınırının 260 MPa olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca çatlak başlangıcının ergime bölgesi ve ergime bölgesi ile ısı tesiri altında kalan bölge arasında gerçekleştiği gözlemlenmiştir (Onoro ve Ranninger, 1997). Lun ve diğerleri ise yaptıkları çalışmada DP, TRIP ve HSLA çeliklerini farklı kombinasyonlarda fiber lazer kaynağı ile birleştirmiş mekanik özellikleri ve mikroyapıyı araştırmışlardır. Çalışmada DP ve HSLA malzemelerin kalınlığı aynı, TRIP çeliğinin kalınlığı ise daha fazla seçilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda DP ve HSLA erime bölgelerinde benzer sertlikte martenzit bulunduğu saptanmıştır. Çekme deneylerinde sünek şekillenmenin güçsüz olan malzeme tarafına doğru gerçekleştiği tespit edilmiştir (Lun ve ark., 2017).

Literatürde çoğunlukla otomotiv sektörü başta olmak üzere çok sayıda sektörde sıklıkla kullanılan HSLA sac malzemelerin lazer kaynağı ile birleştirilmesi ve birleştirilen bu yapının mekanik özellikleri araştırılmıştır. Ayrıca sadece HSLA malzemelerin bükme yöntemiyle şekillendirilme çalışmalarının da yaygın olarak araştırıldığı tespit edilmiştir. Ancak, lazer kaynağı kullanılarak birleştirilen HSLA sac malzemelerde kaynağın şekillendirilebilirliğe ve geri esneme davranışına etkilerinin araştırılmadığı belirlenmiştir. Bu çalışmada lazer kaynağı ile birleştirilen HSLA sac malzemelerin bükme operasyonu sonrası şekillendirilebilirliğine ve geri esneme davranışına etki eden kaynak ve proses parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.



Bu çalışmada, öncelikle aynı hadde yönüne sahip iki adet HSLA300 sac malzeme lazer kaynağı kullanılarak birleştirilmiştir. Çalışmanın devamında birleştirilen bu sac malzemelerin V bükme yöntemiyle bükülmesi ile şekillendirilebilirlik ve geri esneme davranışına kaynak parametrelerinin ve proses parametrelerinin etkisinin deneysel araştırılması amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Malzeme

Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler (HSLA) yumuşak ferrit matris içinde dağılmış sert karbür tanelerden oluşan mikroyapıları içermektedir (Erdoğan, 2003; Türkmen ve Gündüz, 2011). Sürekli akma davranışı, deformasyon sertleşmesinin yüksek olması, iyi işlenebilirlik ve yüzey kalitesi gibi özelliklerinden ötürü çift fazlı çeliklerle kıyaslanmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı HSLA malzemeler kullanım yerlerinde üstün performans göstermektedirler. HSLA çelikleri, iyi şekillendirilebilirliğinden ötürü otomotiv endüstrisinde yaygın kullanım alanına sahip olan malzemelerdir. Özellikle otomotiv endüstrisinde bu malzemelerin seçilmesinin nedeni, yüksek dayanım/ağırlık oranları ile araç hafifletme çalışmalarında yakıt tüketimini azaltmaları ile enerji tasarrufu sağlamaları ve karbon emisyonunun azaltılması ile de çevreye olan katkılarından dolayı büyük öneme sahip olmalarıdır (Türkmen ve Gündüz, 2011).

Deney malzemesi olarak soğuk haddelenmiş 1.2 mm kalınlığında HSLA300 çelik sac malzeme kullanılmıştır. Deney malzemesinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için çekme ve sertlik ölçme testi yapılmıştır. Malzemenin testlerden elde edilen mekanik özelliklerin ortalama değerleri Tablo 1’de verilmiştir. Malzemenin kimyasal kompozisyonunun belirlenmesi için kimyasal spektrometre testi yapılmıştır. Kimyasal spektrometre ile analiz sonuçları da Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. HSLA sac malzemenin mekanik özellikleri

Akma dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Elastisite modülü (GPa)	Sertlik (Vickers)
314,231	396,357	32,182	182,929	96

Tablo 2. HSLA sac malzemenin kimyasal kompozisyonu(% ağı.)

	C	Mn	Cr	Cu	Nb	Fe
HSLA	0,068	0,254	0,034	0,03	0,03	Kalan

### 2.2. Lazer Kaynak İşlemi ve Kaynak Parametreleri

HSLA300 sac malzeme su jeti ile 0 derece hadde yönünde kesilerek 40x20 mm boyutlarında kesilerek hazırlanmıştır. Malzemeler IPG YLR-6000 fiber lazer kaynağı kullanılarak alın kaynağı yöntemiyle birleştirilmiştir. Kesilerek hazırlanan malzemelerin lazer kaynak gücünün mikroyapıya, sertliğe ve geri esnemeye etkilerinin belirlenebilmesi için üç farklı lazer kaynak gücü ile lazer kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Kaynak parametreleri Tablo 3’te verilmiştir.

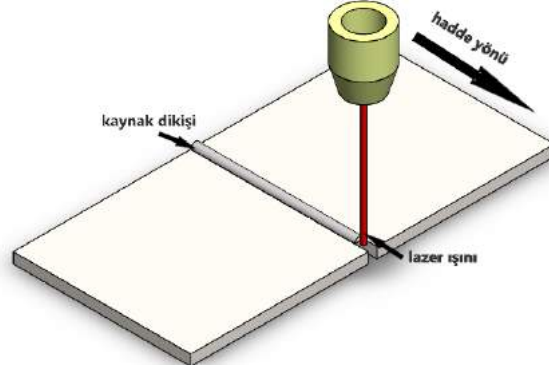
Tablo 3. Lazer kaynak parametreleri

	Kaynak gücü (watt)	Kaynak hızı (mm/dk)	Lazer çapı (mikron)	Koruyucu gaz
Lazer kaynak parametresi 1	1300	2000	400	Argon
Lazer kaynak parametresi 2	1400	2000	400	Argon
Lazer kaynak parametresi 3	1500	2000	400	Argon

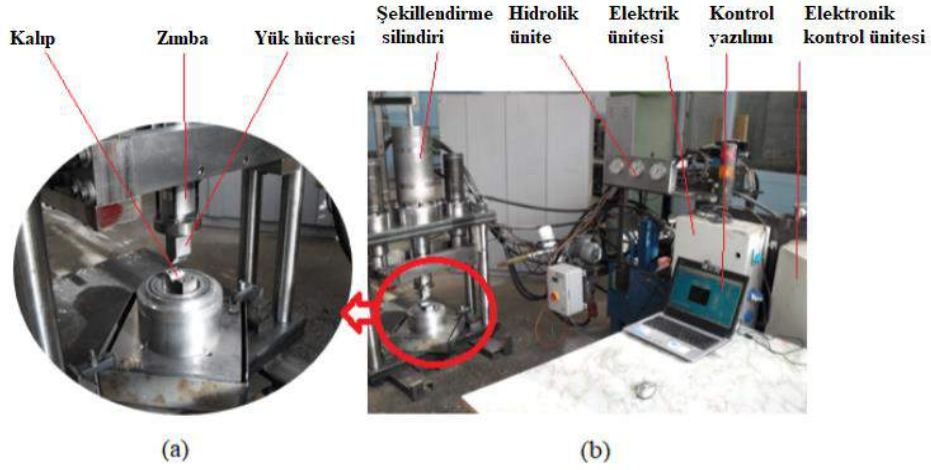
### 2.3. Deney Parametreleri ve Deneysel Çalışma Ortamı

Lazer kaynağı ile birleştirilen HSLA-HSLA malzeme çiftinin şematik görüntüsü Şekil 1’de verilmiştir. Deneysel çalışmalar da bilgisayar kontrollü deney düzeneği vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğinde bükme kuvveti, bükme hızı ve ütüleme süresi

değerlerinin kontrolü programa girilen veriler vasıtasıyla elektronik olarak sağlanmaktadır. Deneysel çalışmalarda her bir deney üçer defa tekrar edilmiştir. Deneysel çalışma ortamı Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 1. Lazer kaynaklı malzemenin şematik görünümü



Şekil 2. Deney düzeneğinin görüntüsü; a) detay görünüm, b) genel görünüm

Deneysel çalışmalarda; kalıp açısı, ütüleme süresi ve lazer kaynak gücü deney parametresi olarak seçilmiştir. Deney parametreleri ve parametre değerleri Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. Deneysel çalışma parametreleri ve parametre değerleri

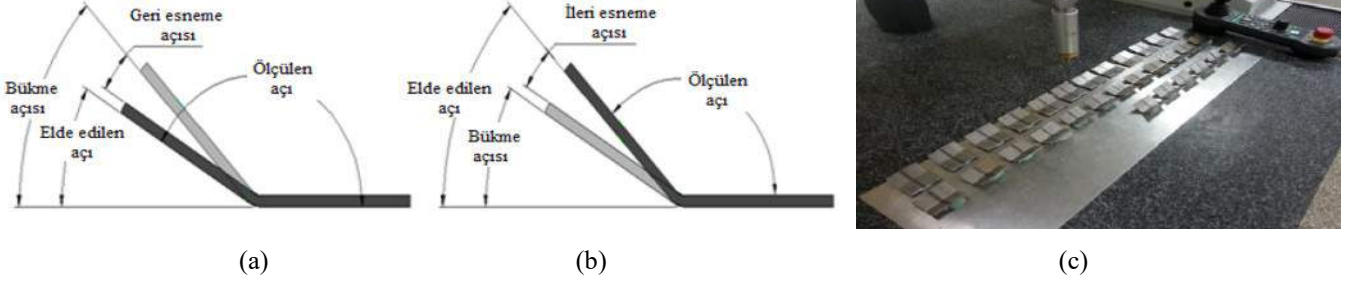
Deney parametresi	Parametre değerleri
Kalıp açısı (derece)	15, 30, 45, 60 ve 75
Ütüleme süresi (saniye)	0, 10 ve 20
Lazer kaynak gücü (watt)	1300, 1400 ve 1500
Malzeme	Kaynaksız HSLA, Kaynaklı HSLA

Deneysel çalışmada şekillendirme kuvvetini hesaplamak amacıyla Eş.1 kullanılmıştır (Handbook ASM, 1988). Eş.1’de verilen; L şekillendirme kuvveti, l bükme uzunluğu, k kalıp açıklık faktörü, t sac kalınlığı, S çekme gerilmesi, s kalıp açıklığının genişliği olarak tanımlanmıştır.

$$L = \frac{l.t^2.k.S}{s} \quad (1)$$

## 2.4. Geri esneme davranışı ve geri esnemenin ölçümü

Bükme operasyonlarında, malzemelerin elastikiyet sınırı aşılmakta, ancak maksimum çekme gerilmeleri aşılamamaktadır. Bu nedenle, bükme operasyonları sonrası malzeme sahip olduğu elastik gerilmelerden dolayı geri eski şeklini almaya çalışmakta ve şekil bükme açısından saptmaktadır. Malzemenin göstermiş olduğu bu davranış geri esneme olarak tanımlanmaktadır. Sac malzemenin ileriye doğru esnemesi de negatif geri esneme veya ileri esneme olarak tanımlanmaktadır (Thipprakmas ve Rojananan, 2008). Şekil 3'te geri esnemenin şematik gösterimi ve geri esnemenin CMM (koordinat ölçme makinesi) ile ölçümü verilmiştir.



Şekil 3. Bükme prosesi (a) geri esneme, (b) negatif geri esneme/ileri esneme; (c) CMM ile geri esnemenin ölçümü

V bükme yöntemiyle bükülerek şekillendirilen malzemelerin geri esneme ölçümü bilgisayarlı koordinat ölçme (CMM) cihazı ile yapılmıştır. Öncelikli olarak malzemeler bir sac plaka üzerine deforme edilmeden yapıştırılmıştır. Geri esneme açısını ölçme işlemi ise CMM cihazının probunun bükülen parçanın her bir yüzeyine dört noktadan dokundurularak birer düzlem elde edildikten sonra elde edilen iki düzlem arasında kalan açının kalıp açısından çıkarılmasıyla elde edilmiştir.

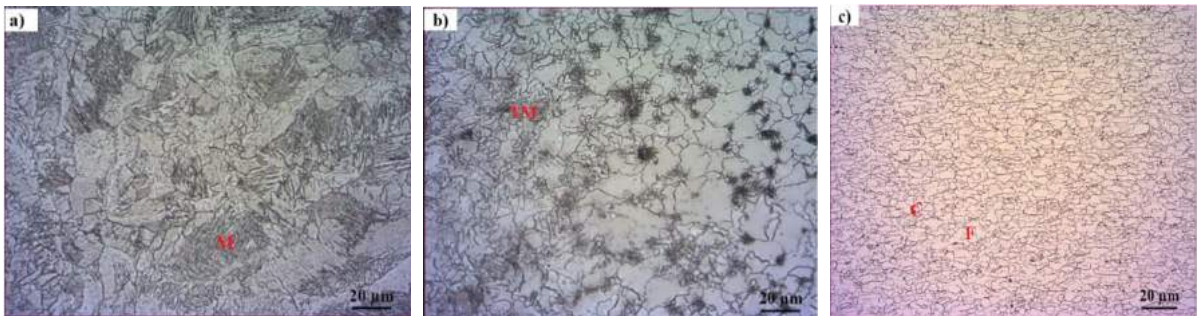
## 2.5. Mikroyapı İncelemesi

Kaynak esnasında malzemenin iç yapısında oluşan değişikliklerin değerlendirilmesi amacıyla birleştirilen parçaların mikroyapıları da incelenmiştir. Bu amaçla kaynaklı bölgeyi içerecek şekilde hassas kesme cihazı ile kesilen numuneler bakalitleme işlemi için bakalit ele alınmış ve parlatma işleminden sonra alkol ile yıkandıktan sonra kurutulmuştur. Numuneler son aşamada da %3'lük nital çözeltisiyle 5 saniye dağlama işlemine tabi tutulmuştur. Dağlanan numunelerin görüntüleri NIKON marka optik mikroskop kullanılarak elde edilmiştir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

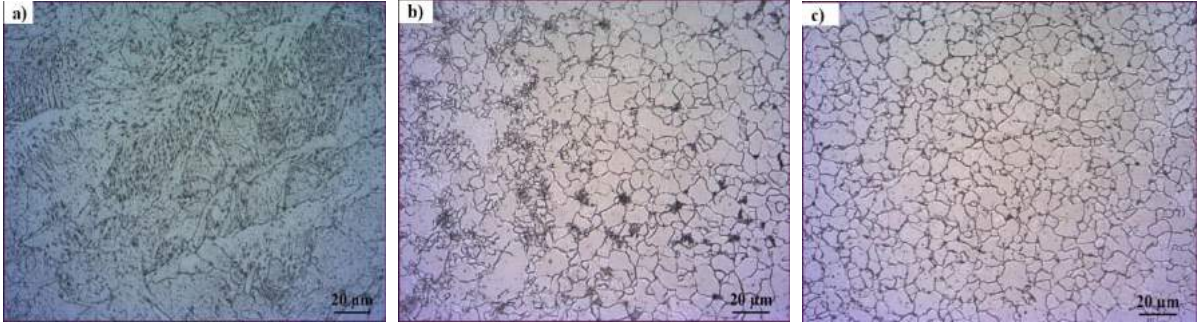
Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar lazer kaynağı ve proses parametrelerinin geri esnemeye etkilerine göre değerlendirilmiştir. Lazer kaynağında kullanılan kaynak güç parametresinin geri esnemeyi doğrudan etkileyen ve malzemenin mikroyapısında da önemli değişikliklere yol açan parametre olduğu gözlemlenmiştir. Kaynaklı parçalarda mikroyapı incelemesi; erime bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge ve ana metal olmak üzere üç bölgede incelenmiştir.

Lazer kaynaklı numunelerde kaynak bölgesinde ani soğumaya bağlı olarak martenzit yapı gözlenmiştir. Kaynak bölgesinde oluşan sıcaklık malzemenin ergime sıcaklığının üzerindedir. Bundan dolayı kaynak bölgesinin tamamına yakını martenzit fazından oluşmaktadır. Kaynak bölgesinden uzaklaştıkça oluşan sıcaklıkta azalma meydana gelmektedir. Kaynak bölgesine yakın ısı tesiri altındaki bölgede  $Ac_1$  ve  $Ac_3$  çizgileri arasında %100 ostenitleşme gerçekleşmemesinden dolayı ferrit fazında artış, martenzit fazında ise azalma meydana gelmiştir. Kaynak bölgesinden uzaklaştıkça sıcaklık  $Ac_1$  çizgisinin altına düşmektedir. Bu sebeple ana metale yakın bölgede yarı kararlı temperlenmiş martenzit fazı ortaya çıkmıştır (Dong ve ark., 2014). Farklı güç parametrelerinde lazer kaynağı ile birleştirilmiş HSLA çelik sac malzemelerin optik mikroskop görüntüleri Şekil 4-6'da verilmiştir.

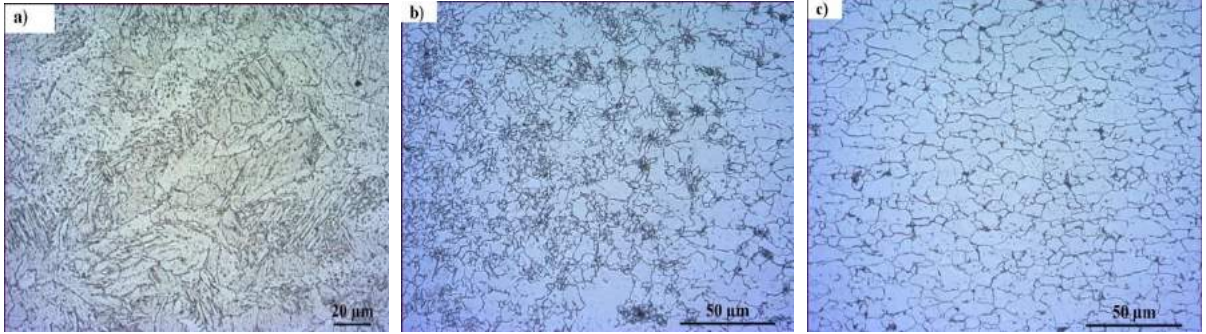


Şekil 4. 1300 watt lazer kaynak gücü; (a) erime bölgesi, (b) ısı tesiri altındaki bölge (ITAB), (c) ana metal  
(M: martenzit, F: ferrit, C: karbür alaşımı, TM: temperlenmiş martenzit)



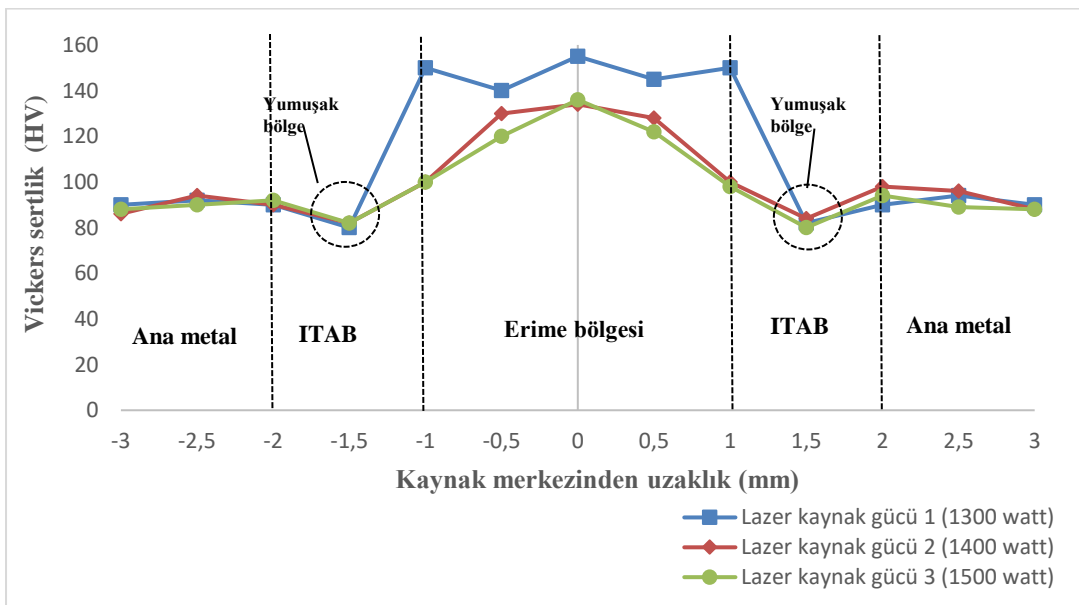


Şekil 5. 1400 watt lazer kaynak gücü; (a) erime bölgesi, (b) ısı tesiri altındaki bölge (ITAB), (c) ana metal



Şekil 6. 1500 watt lazer kaynak gücü; (a) erime bölgesi, (b) ısı tesiri altındaki bölge (ITAB), (c) ana metal

Numunelerde kaynak bölgesinde martenzit artışından dolayı ana metal ve ısı tesiri altında kalan bölgeye kıyasla daha yüksek sertlik değerleri tespit edilmiştir. Kaynak bölgesinden uzaklaştıkça malzemede %100 ostenitleşme oluşamamasından dolayı sertlik değerinde ana metale doğru azalma gözlemlenmiştir. Kaynak gücünün artmasıyla kaynak bölgesi ile ısı tesiri altındaki bölgenin genişlemesine karşılık martenzit fazının oluşumuna neden olan karbon ve mangan elementlerinin HSLA malzeme yapısında düşük miktarda bulunmasından dolayı bu bölgelerde martenzit dönüşümü tam olarak gerçekleşmemiştir (Khan ve ark., 2009). Bu durum da kaynak gücünün artmasıyla birlikte özellikle erime bölgesi ve ısı tesiri altında kalan bölgede sertliğin azalmasına sebep olmuştur. Sertlik artışı geri esneme açısını artırırken sertlik azalması da geri esneme açısını azalmaktadır (Karaağaç, 2017). Kaynak gücünün artmasıyla sertlik değerlerinde görülen azalmayla birlikte geri esneme açısında da azalma tespit edilmiştir. Şekil 7’de kaynak merkezinden uzaklığa göre sertlikteki değişimi farklı güç parametrelerine göre verilmiştir.

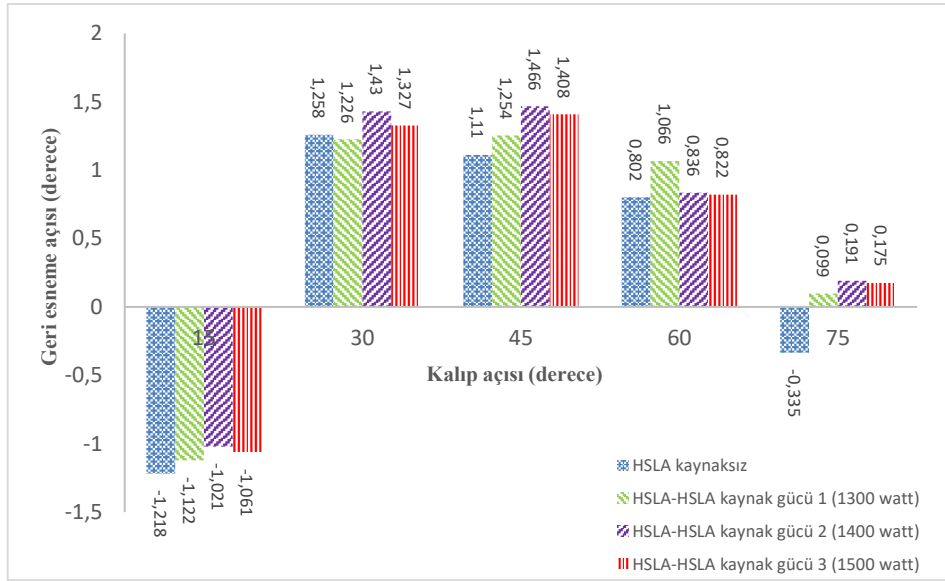


Şekil 7. Lazer kaynaklı malzemelerin sertlik değerleri

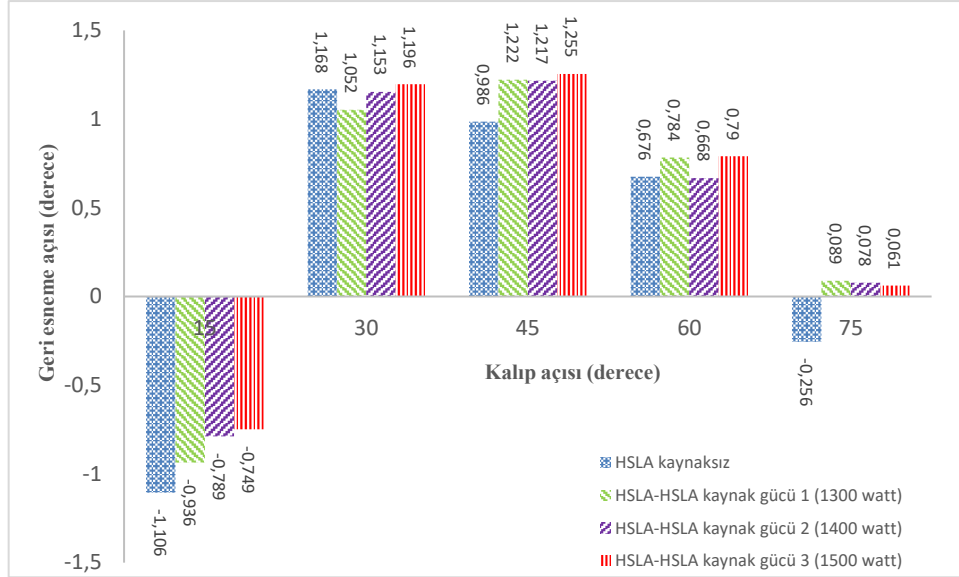
Şekillendirme prosesinde zımbanın malzeme üzerinde bekleme zamanı olarak adlandırılan ütüleme süresi geri esnemeyi etkileyen önemli parametrelerdendir (Ahmed ve ark., 2014). Şekillendirme esnasında, ütüleme süresinin artmasıyla birlikte malzemenin şekli sınırlanmaktadır. Malzemenin sınırlanması kalıcı gerilemelerin artmasına sebep olmaktadır. Bu durum geri esneme açısını da azaltmaya yol açmaktadır (Karaağaç, 2017).

Kalıp açısındaki artışa bağlı olarak 45 derece açığa kadar geri esneme açısında artış gözlemlenmiştir. Bu durum açının artmasına bağlı olarak büküm bölgesinde elastik gerilmelerin artmasından kaynaklanmaktadır (Ahmed ve ark., 2014).

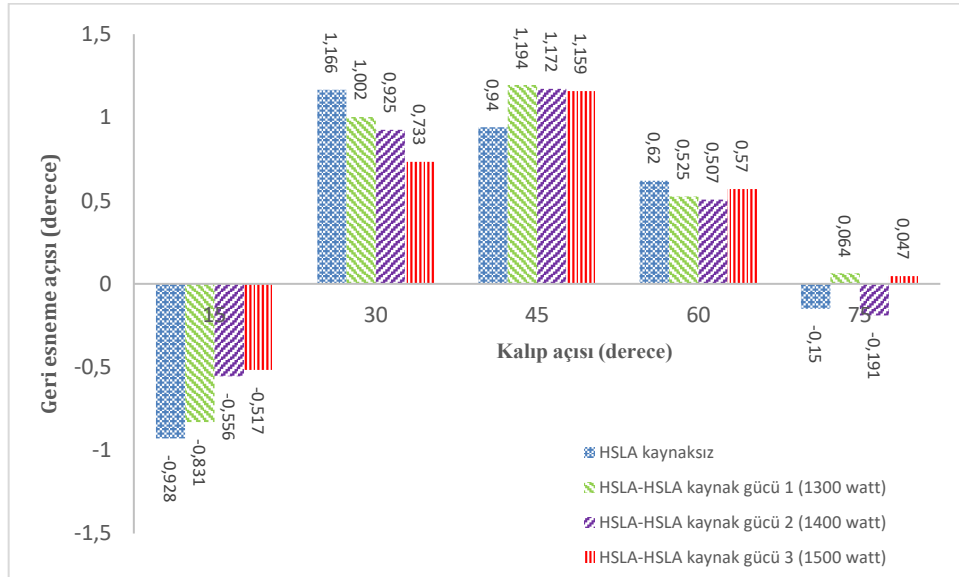
Zımbanın kalıp en alt noktasına kadar temas ederek yapmış olduğu bükme işlemlerinde (bottoming bending), sac malzeme kalıp ile zımba arasında preslenmekte ve zımbanın ucu malzemeyi ezmektedir. Büküm çizgisi boyunca bu ezilmeden dolayı sac kalınlığında incelme meydana gelmektedir. Bu durum 15 derece gibi küçük açılarda içeri doğru fazla bükülmeye (overbending) neden olmaktadır. Bundan dolayı her iki sac malzeme için de 15 derece büküm açılarında negatif geri esneme (ileri esneme) gözlemlenmiştir. Ancak büküm açısının artması ile birlikte büküm bölgesinde ki gerilme miktarında (sac iç yüzeyinde basma ve sac dış yüzeyinde çekme) artma meydana gelmektedir. Artan bu gerilmeler, fazla bükümün oluşturmuş olduğu ileri esnemenin geri esnemeye dönmesine neden olmaktadır. Kalıp açısının 15 dereceden 30 dereceye artışı ile birlikte ileri esnemenin geri esnemeye dönüştüğü gözlemlenmektedir. Ancak, küçük zımba uç radyüsünün olduğu bükme operasyonlarında gerilmeler sac malzeme üzerinde büküm bölgesinde dar bir alanda toplanmaktadır. Büküm açısının artması ile birlikte bu gerilmelerin sac malzeme üzerinde toplandığı alan daha da daralmaktadır. Bu nedenle kalıp açısının artmasına bağlı olarak geri esneme miktarında azalma meydana gelmektedir. Düşük gerilmeli sac malzemelerde 75 derece gibi daha büyük açılarda da bu gerilmeler fazla bükme etkisini aşamayıp malzemede negatif geri esnemenin gözlemlenmesine neden olmuştur (Aydın ve ark., 2019). Şekil 8-10'da kalıp açısı geri esneme ilişkisi farklı güç parametrelerine ve ütüleme sürelerine göre verilmiştir.



Şekil 8. Geri esneme-kalıp açısı ilişkisi, 0 saniye ütüleme süresi



Şekil 9. Geri esneme-kalıp açısı ilişkisi, 10 saniye ütüleme süresi



Şekil 10. Geri esneme-kalıp açısı ilişkisi, 20 saniye ütüleme süresi

## 4. Sonuç

Lazer kaynağı güç parametresi ve proses parametrelerinin lazer kaynağı ile birleştirilen parçalarda geri esnemeye etkileri açısından değerlendirilmiştir.

- Lazer kaynak gücünün artmasıyla birlikte geri esneme açısında azalma gözlemlenmiştir. Bu durumun lazer kaynak gücünün artmasıyla beraber sertliğin azalmasından kaynaklanmıştır. Artan sıcaklıktan dolayı HSLA yapısında martenzit yapıcı karbon ve mangan elementlerinin düşük miktarda bulunmasından kaynaklandığı mikroyapı incelemelerinden elde edilmiştir. Lazer kaynak gücünün 100 watt artmasıyla geri esneme açısının ortalama 0,15 derece azaldığı gözlemlenmiştir.

- Geri esneme davranışının kalıp açısındaki değişime bağlı olarak da değiştiği tespit edilmiştir. 45 derece kalıp açısına kadar geri esneme açısının ortalama 0,14 derece arttığı, 45 dereceden sonra da geri esneme açısının ortalama 0,52 derece azaldığı gözlemlenmiştir. Geri esneme açısındaki bu artış kalıp açısındaki artışa bağlı olarak büküm bölgesindeki gerilmelerin artmasından kaynaklanmıştır. 45 dereceden sonra da esneme açısının azalması gerilmelerin büküm açısının büyümesi ile dar bir alanda toplanmasından kaynaklanmıştır.



• Geri esneme davranışına etki eden bir diğer parametre de ütüleme süresi olarak gözlenmiştir. Ütüleme süresinin artması ile birlikte elastik gerilmelerin malzemede sınırlanması nedeniyle bu gerilmeler kalıcı plastik gerilmelere dönüşmektedir. Bu durumda geri esneme açısında azalmaya yol açmıştır. Deneysel çalışmalarda da ütüleme süresinin 10 saniye artışına bağlı olarak geri esneme açısının ortalama 0,14 derece azaldığı belirlenmiştir.

• Kaynaksız tek parça HSLA sac malzemenin bükümünde en büyük geri esneme açısı 1,258 derece, en küçük geri esneme açısı 0,15 derece elde edilmiştir. Aynı boyutlarda ve aynı hadde yönünde HSLA-HSLA kaynaklı sac malzemenin bükümünde en büyük geri esneme açısı 1,466 derece elde edilirken, en küçük geri esneme açısı 0,047 derece elde edilmiştir. HSLA sac malzemelerin şekillendirilmesinde, lazer kaynaklı parçaların şekillendirilebilirlik açısından ileri düzey şekillendirme kusurlarına sebep olmayacağı ve lazer kaynağı ile birleştirilen sac malzemelerin sorunsuz bir şekilde şekillendirilebileceği gözlemlenmiştir.

## **Kaynakça**

- Ahmed, G. S., Ahmed, H., Mohiuddin, M. V., & Sajid, S. M. S. (2014). Experimental evaluation of springback in mild steel and its validation using LS-DYNA. *Procedia materials science*, 6, 1376-1385.
- Aydın, K., Karaağaç, İ., & Uluer, O. (2019). The formability and springback characterization of laser-welded DP-HSLA sheets. *Applied Physics A*, 125(8), 525.
- Dai, H. L., Jiang, H. J., Dai, T., Xu, W. L., & Luo, A. H. (2017). Investigation on the influence of damage to springback of U-shape HSLA steel plates. *Journal of Alloys and Compounds*, 708, 575-586.
- De Souza, T., & Rolfe, B. F. (2013). Understanding robustness of springback in high strength steels. *International Journal of Mechanical Sciences*, 68, 236-245.
- Dong, D., Liu, Y., Yang, Y., Li, J., Ma, M., & Jiang, T. (2014). Microstructure and dynamic tensile behavior of DP600 dual phase steel joint by laser welding. *Materials Science and Engineering: A*, 594, 17-25.
- Erdogan, M. (2003). Effect of austenite dispersion on phase transformation in dual phase steel. *Scripta Materialia*, 48(5), 501-506.
- Ghaei, A., Green, D. E., & Aryanpour, A. (2015). Springback simulation of advanced high strength steels considering nonlinear elastic unloading-reloading behavior. *Materials & Design*, 88, 461-470.
- Handbook, A. S. M. (1988). *Forming and forging*. ASM international, 14, 483.
- Irving, B. (1997). Laser beam welding shifts into high gear. *Welding journal*, 76(11).
- Jokinen, T. (2004). Novel ways of using Nd: YAG laser for welding thick section austenitic stainless steel. VTT.
- Karaağaç, İ. (2017). The experimental investigation of springback in V-bending using the flexforming process. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 42(5), 1853-1864.
- Karaağaç, İ., Önel, T., & Uluer, O. (2019). The effects of local heating on springback behaviour in v bending of galvanized DP600 sheet. *Ironmaking & Steelmaking*, 1-7.
- Karaaslan, A., Sönmez, N., & Topuz, A. (1998). Lazer ile kaynak edilebilirliğin alaşımsız yapı çeliğinde araştırılması, 2. Uluslararası Kaynak Teknolojisi Sempozyumu.
- Khan, M. S., Bhole, S. D., Chen, D. L., Biro, E., Boudreau, G., & Van Deventer, J. (2009). Welding behaviour, microstructure and mechanical properties of dissimilar resistance spot welds between galvanized HSLA350 and DP600 steels. *Science and Technology of Welding and Joining*, 14(7), 616-625.
- Lun, N., Saha, D. C., Macwan, A., Pan, H., Wang, L., Goodwin, F., & Zhou, Y. (2017). Microstructure and mechanical properties of fibre laser welded medium manganese TRIP steel. *Materials & Design*, 131, 450-459.
- Mkaddem, A., & Saidane, D. (2007). Experimental approach and RSM procedure on the examination of springback in wiping-die bending processes. *Journal of Materials Processing Technology*, 189(1-3), 325-333.
- Onoro, J., & Ranninger, C. (1997). Fatigue behaviour of laser welds of high-strength low-alloy steels. *Journal of Materials Processing Technology*, 68(1), 68-70.
- Panda, N., Pawar, R. S. (2018). Optimization of process parameters affecting on springback in v-bending process for high strength low alloy steel HSLA 420 using FEA and Taguchi technique. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering*, 12(1), 28-34.
- Pang, M., Yu, G., Wang, H. H., & Zheng, C. Y. (2008). Microstructure study of laser welding cast nickel-based superalloy K418. *Journal of Materials Processing Technology*, 207(1-3), 271-275.
- Schuler GmbH., & Schuler GmbH. (1998). *Metal forming handbook*. Springer Science & Business Media.
- Tekaslan, Ö., Şeker, U., & Özdemir, A. (2006). Determining springback amount of steel sheet metal has 0.5 mm thickness in bending dies. *Materials & design*, 27(3), 251-258.
- Thipprakmas, S., & Rojananan, S. (2008). Investigation of spring-go phenomenon using finite element method. *Materials & Design*, 29(8), 1526-1532.
- Türkmen, M., & Gündüz, S. (2011). Martensite morphology and strain aging behaviours in intercritically treated low carbon steel. *Ironmaking & Steelmaking*, 38(5), 346-352.



# Saf Alüminyuma Uygulanan İki Aşamalı Anodik Oksidasyon İşleminde Por Genişletme Süresinin Oksit Porlar Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

Halil Yılmaz<sup>1\*</sup>, Mustafa Kocabaş<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Muş Alparslan Üniversitesi, Muş, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3585-0665)

<sup>2</sup> Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Konya Teknik Üniversitesi, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2179-5183)

(İlk Geliş Tarihi 31 Ağustos 2019 ve Kabul Tarihi 27 Eylül 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.613555)

**ATIF/REFERENCE:** Yılmaz, H. & Kocabaş, M. (2019). Saf Alüminyuma Uygulanan İki Aşamalı Anodik Oksidasyon İşleminde Por Genişletme Süresinin Oksit Porlar Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 38-44.

## Öz

Anodik oksidasyon işlemi alüminyum, tantalyum, titanyum, molibden vb. metal ve alaşımlarının yüzey özelliklerini geliştirmek ve böylece bu metallere üretilen parçaların servis ömürlerini arttırmak için yaygın bir şekilde kullanılan bir yüzey işlemidir. Çok farklı türlerde ve koşullarda yapılan anodik oksidasyon işleminin bir türü de iki aşamalı anodik oksidasyon işlemidir. İki aşamalı anodik oksidasyon işlemi, alüminyum gibi uygun bir metal yüzeyinde sürekli bir tabaka oluşturarak korozyon direncini artırma gibi birçok yüzey özelliğini geliştiren bir işlemdir. Tek aşamalı anodik oksidasyona göre daha düzenli bir por dizilimine sahip olan iki aşamalı anodik oksidasyon işleminde, nanoteknoloji uygulamaları çok hızlı bir gelişim göstermiş ve bununla beraber çeşitli nano-tüpler ve nano-tellerin potansiyel üretimleri yapılmaktadır. Bu çalışmada, saf alüminyum yüzeyinde iki aşamalı potansiyostatik anodik oksidasyon işlemi incelenmiştir. Bu amaçla elektrolitik olarak parlatılan numuneler 0,3 M oksalik ( $C_2H_2O_4$ ) asit çözeltisinde 40 V sabit gerilim değerinde farklı sürelerde anodize edilen numuneler 0,1 M fosforik ( $H_3PO_4$ ) asit çözeltisinde por genişletme işlemine tabi tutulmuştur. Sabit gerilim değerinde yapılan anodik oksidasyon işlemleri sırasında elde edilen akım yoğunluğu süre grafikleri anodik oksidasyon işleminin tekrarlanabilirliği açısından önem arz etmektedir. Farklı sürelerde (0, 30 ve 60 dakika) yapılan por genişletme işleminden sonra elde edilen gözenekli yapıdaki anodik alüminyumun homojenliği ve ortalama por çapları gibi özellikleri yüzeyden yapılan SEM analizleriyle incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonunda artan por genişletme süresine bağlı olarak por dizilimlerinin düzleştiği ve por çaplarının arttığı tespit edilmiştir. İşlemlerin arzu edilen şekilde yapılmasına bağlı olarak farklı boyutlara sahip nanotellerin/tüplerin üretimi, istenilen düzgün ve homojen nanoyapılar şeklinde gerçekleştirilebilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** İki aşamalı anodik oksidasyon, Por çapları, Por genişletme, Saf alüminyum.

## Investigation of the Effects of Pore Widening Times on Oxide Pores on Pure Aluminum in Two-Step Anodic Oxidation Process

### Abstract

An anodic oxidation process is a commonly used for surface treatment to improve the surface properties of the metals and their alloys such as aluminum, tantalum, titanium, molybdenum etc. and thereby increase the service life of the specimen parts produced from these metals. A type of anodic oxidation process with different types and conditions is made in the two-step anodic oxidation process. The two-step anodic oxidation is a process that improves several surface properties, such as increasing the corrosion resistance by forming a continuous layer on the surface of a suitable metal such as aluminum. In a two-step anodic oxidation process, which has a more regular pore array than one-step anodic oxidation, nanotechnology applications have been rapidly developing and with the

<sup>1</sup> Sorumlu Yazar: Muş Alparslan Üniversitesi, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Muş, Türkiye, ORCID: 0000-0003-3585-0665, [halil.yilmaz@alparslan.edu.tr](mailto:halil.yilmaz@alparslan.edu.tr)

potential production of various nano-tubes and nano-wires. In this study, the two-step potentiostatic anodic oxidation process on pure aluminum surface was investigated. For this purpose, electrolytically polished samples were anodized at 0.3 M oxalic ( $C_2H_2O_4$ ) acid solution at 40 V constant voltage for different times and were subjected to pore expansion in 0.1 M phosphoric ( $H_3PO_4$ ) acid solution. The current density time graphs obtained during anodic oxidation processes at constant voltages are important for the reproducibility of the anodic oxidation process. The properties of the anodic alumina in the porous structure obtained after pore expansion at different times (0, 30 and 60 minutes) and the average pore diameters were examined by SEM analysis. After the surface investigations, it has been determined that pore arrays become smooth and pore diameters increase depending on an increase in pore widening time. The fabrication of nanowires/tubes with different sizes can be carried in the form of homogeneous nanostructures depending on the desired operation.

**Keywords:** Pore diameters, Pore widening, Pure aluminum, Two-step anodic oxidation.

## 1. Giriş

Nanoteknoloji en hızlı gelişen bilim dallarından biri olmakla beraber son yıllarda gelişimini sürekli devam ettirmektedir. Nanoteknolojinin uygulama alanlarından biri de nano-tüpler/teller gibi özel yapıları malzemelerin imalatıdır. Bu nano boyuttaki malzemeler, manyetik, fotonik, nano ve mikro elektronik mekanik sistemler (N/MEMS) gibi amaçlar için kullanılan cihazların üretiminde kullanılmaktadır. Nano yapıları malzemelerin sentezi için önerilen çeşitli hazırlama rotaları arasında, gözenekli mebranlar ve şablon destekli yöntemler, nanoteknolojide yaygın olarak kullanılmaktadır (Masuda & Fukuda, 1995; Zaraska, Sulka, & Jaska, 2010). Düzenli por yapısına sahip anodik alüminyum filmler karakteristik olarak, düzenli altıgen (bal peteği) hücre yapısına sahiptirler ve yüzeye dik olarak büyümektedirler. Malzemelerin bu karakteristik özelliğe sahip olması, üretimi hedeflenen malzemelerin istenilen geometride ve son derece düzenli bir şekilde sentezlenmesi için uygun altlıklar oluşturmaktadır (Montero-Moreno, Sarret, & Müller, 2007; Zaraska et al., 2010).

Altlık olarak en çok tercih edilen metal olan alüminyumun fiziksel ve kimyasal özelliklerini daha da geliştirmek için oksitlenmiş kalın ve sert tabakaların elde edildiği bazı elektrokimyasal işlemler uygulanmaktadır (Bouchama et al., 2013). Alüminyumun anodik oksidasyon işlemi, korozyon ve aşınmaya karşı koruma sağlamak için bir çözelti içerisinde dış akım uygulanarak alüminyumu okside dönüştürme esasına dayanan bir elektrokimyasal yöntemdir (Bouchama et al., 2013; Konno, Utaka, & Furuichi, 1996). Anodik alüminyum, alüminyumun mekanik özelliklerini iyileştirmek için anti-korozif veya dekorasyon kaplaması olarak kullanırken, gözenekli anodik alüminyum, kendiliğinden veya bükümlü düzgün silindirik gözenek olarak nanoteknolojide mebran olarak kullanılır (Han & Shen, 2011). Anodik oksidasyon yöntemi, alüminyumun yanında, magnezyum, niyobyum, titanyum, tungsten ve benzeri metallere de uygulanmaktadır (Moldovan, Bruj, & Jumate, 2011).

Laboratuvar yapımı gözenekli anodik alümina filmleri genellikle sülfürik, oksalik ve fosforik asit çözeltilerinde kendiliğinden düzenlenen iki aşamalı anodik oksidasyon yöntemiyle hazırlanır (Erdogan, Yuksel, & Birol, 2012; Li, Müller, Birner, Nielsch, & Gösele, 1999; Moldovan et al., 2011; Zaraska, Sulka, & Jaska, 2011). Oksalik asit çözeltilerinde yapılan anodik oksidasyon işleminde, yaygın olarak kullanılan sülfürik ( $H_2SO_4$ ) asit çözeltilerine göre daha yüksek gerilim değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır (Diggle, Downie, & Goulding, 1969; Sheasby, P., & Pinner, 2001). Anodik alüminyum oksit, nano boyuttaki malzemeleri üretmek için yapılan ön aşamadır.

Doğal yüzey oksitlerini temizlemek, yüzeyde bulunan intermetalik bileşiklerin sayısını azaltmak ve yüzey pürüzlülüğünü düşürmek için, kimyasal veya mekanik parlatma ve elektrolitik parlatma işlemleri anodik oksidasyon öncesinde yüzeylere uygulanmaktadır (Montero-Moreno, Sarret, & Müller, 2007). Anodik oksidasyon işleminde elektrolit ve elektrolitin sıcaklığı, gözenek şeklini ve boyutunu etkiler. Düşük sıcaklıklarda yapılan anodik oksidasyon işleminde, kontrollü gözenek oluşumu gözlemlenmektedir. Elektrolit içerisindeki sıcaklık değişimleri, işlem gören numunenin gözeneklilik miktarını belirlemektedir (Ilango, Mutalikdesai, & Ramasesha, 2016).

Anodik oksidasyon işleminin oksitlerin morfolojisine olan etkileri geniş çapta araştırılmıştır. İlk anodik oksidasyon aşamasında oluşan düzensiz alüminyum oksit tabakasını alüminyumun yüzeyinden uzaklaştırmak için ikinci anodik oksidasyon aşaması öncesinde kullanılan kimyasal dağlama işlemi, anodik oksit şablonlarının morfolojik özellikleri için büyük önem taşımaktadır. Dağlama işlemi için kullanılan en yaygın çözelti fosforik (ağ. %6) ve kromik ( $H_2CrO_4$ , ağ. %1,8) asit çözeltisidir ve işlemin sıcaklığı genellikle 45 ila 80 °C arasında değişiklik göstermektedir. Kimyasal dağlama işlemi, alüminyum yüzeyini iyileştirir ve ikinci anodik oksidasyon aşamasından sonra arzu edilen düzenli altıgen nano-gözeneklerin oluşturulmasını sağlamak için alüminyum yüzeyinde yarım küre içbükey bir yüzey oluşturur. Bununla birlikte, kimyasal dağlama parametrelerinin oksit morfolojisi üzerinde ciddi etkileri olmasına rağmen bunun üzerine gerçekleştirilmiş çalışma sayısı sınırlıdır (Erdogan et al., 2012). Sabit akım yoğunluğu veya sabit gerilim değeri ile üretilen poröz oksit filmin gelişimi, süreye karşı akım yoğunluğunun veya gerilim değerinin değişimi izlenerek gözlemlenmektedir. Bu tarz bir inceleme ile deneylerin arzu edilen koşullarda ve standartlarda yapıldığını kontrol edilmektedir (Ma, 2010; Sheasby, P., & Pinner, 2001; Sulka, 2008).

Küçük boyutlu metalik malzemelerin özellikleri (mekanik, elektriksel ve optik vs.) büyük hacimli benzerlerine göre belirgin özellikleri nedeniyle daha fazla dikkat çekmektedir (Stelmashenko, Walls, Brown, & Milman, 1993). Çapları 5 µm'dan daha küçük metalik nanotellerin/sütunların basma ve çekme dayanımları hakkında bir dizi rapor yayımlanmıştır. Tüm durumlarda, nanotellerin/sütunların dayanımı, numune çapı azaldıkça artmaktadır. Bu durum boyut etkisi veya "daha küçük olan daha güçlü" olgularıyla adlandırılmaktadır. Bu boyut etkisi ilk olarak Uchic vd. (Dimiduk, Uchic, & Parthasarathy, 2005; Uchic, Dimiduk, e-ISSN: 2148-2683

Florando, & Nix, 2004) tarafından Ni nanosütunlar üzerine yapılan deneysel çalışmalar sonucunda görülmüş ve daha sonra yüzey merkezli kübik (ymk) ve hacim merkezli kübik (hmk) yapılı metaller üzerinde yapılan çalışmalar ile yoğunlaşmıştır (Greer, Oliver, & Nix, 2005; Kiener, Motz, Schöbert, Jenko, & Dehm, 2006; Ng & Ngan, 2008). Küçük numune boyutu, büyük hacimli malzemelerdeki dayanımı kontrol eden özellikleri ortadan kaldırır. Dislokasyonların serbest yüzey ile etkileşimi veya dislokasyon hareketinin kısıtlanması malzemelerin mekanik özelliklerini güçlü bir şekilde etkilemektedir (Greer & De Hosson, 2011).

Bu çalışmanın amacı, iki aşamalı anodik oksidasyon işlemi ile yüksek oranda nano gözenekli ve farklı por çaplarına sahip olan oksit şablonunun üretilmesidir. Por genişletme işlemi sayesinde, farklı büyüklüklere ve düzgün dizilime sahip nano yapıların (nanotel/tüp) üretimi gerçekleştirilerek bu malzemelerin basma-çekme testleri sonucunda mekanik özellikleri, deformasyon karakteristikleri ve boyut etkisi üzerine çalışmalar yürütülmesine olanak sağlanacaktır. Nihai ürünün kalitesi ve yapısal özellikleri oksit şablonunun kalitesine bağlıdır. Karakterizasyon çalışmaları her bir işlem sonrasında yapılmış ve uygun koşul belirlendikten sonra bir sonraki adıma geçilmiştir. Üretilen oksitlere ait por çapları ve por dizilimleri, por genişletme işlem süresi ile kontrol edilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, yüksek saflığa sahip (%99,99) alüminyum metali kullanılmıştır. Numuneler dikdörtgen plakalar şeklinde (800 x 400 x 0,5 mm) temin edilmiş, sonrasında deneylerde kullanılmak üzere 50 x 20 x 0,5 mm boyutlarında dikdörtgen levhalar şeklinde kesilmiştir.

Yüzey pürüzlülüğü, yüksek kaliteli anodik oksit katmanları elde edilmesi gerektiğinde dikkate alınması gereken çok önemli bir parametredir. Bu çalışmada gözenekli oksit tabakalarını düzgün bir şekilde elde edebilmek için elektrolitik parlatma yapılmıştır. İlk olarak, dikdörtgen levhalar halinde kesilmiş numuneler etanol ve aseton ile temizlenmiştir. Elektrolitik parlatma işlemi, anodik oksidasyon işlemi öncesinde yüzeyi pürüzsüz ve hatalardan uzaklaştırılmış hale getirecek olan bir işlem olup, %80 etanol - %20 perklorik asit (hac.) çözeltisi içerisinde gerçekleştirilmiştir. Elektrolitik parlatma işlemi süresince, çözelti sıcaklığı 10 °C'nin altında sabit tutulmak kaydıyla her bir numune için sabit sürede (3 dakika) gerçekleştirilmiştir (Bouchama et al., 2013; Iglesias-Rubianes, Skeldon, Thompson, Shimizu, & Habazaki, 2001; Liu et al., 2009; Thompson, Xu, & Skeldon, 1987; Zhou et al., 2007). İşlem süresince numuneye sabit 20 V gerilim uygulanmış ve çözelti aynı zamanda manyetik karıştırıcı yardımıyla karıştırılmıştır. Numunelerin anot olarak bağlandığı bu sistemde katot malzemesi olarak ise saf alüminyum kullanılmıştır. Numuneler, işlem sonrasında çıplak gözle görülecek şekilde parlamış ve ayna parlaklığı (mirror-like) görüntüsüne kavuşmuştur.

Anodik oksidasyonun ilk aşamasında parlatılmış alüminyum numuneleri, 0,3 M oksalik asit çözeltisi içerisinde 40 V sabit bir gerilim ve oda sıcaklığında 10 saat boyunca anodize edilmiştir. İkinci aşama anodik oksidasyon işlemine başlamadan önce, birinci aşama anodik oksidasyon işlemi sırasında oluşan oksit tabakası, yaklaşık 90 dakika boyunca 60 °C'de kimyasal dağlama çözeltisi (0,1 M fosforik asit ve 0,1 M kromik asit karışımı) yardımıyla uzaklaştırılmıştır.

İkinci aşama anodik oksidasyon işlemi, birinci aşama anodik oksidasyon ile aynı koşullarda (0,3 M oksalik asit çözeltisinde 40 V sabit gerilim değerinde) 60 dakika süreyle gerçekleştirilmiştir. Bütün anodik oksidasyon deneyleri bilgisayar kontrolünde gerçekleştirilmiştir. Deneyi takip ve verileri almak için LabVIEW programı kullanılmıştır. Anodik oksidasyon işlemi sırasında akım yoğunluğu-süre grafikleri de çizdirilmiştir.

Çalışmamızda, gözenek çapını kontrol etmek için kimyasal dağlama işlemi, oda sıcaklığındaki 0,1 M fosforik asit çözeltisinde farklı süreler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kimyasal dağlama, gözenek düzenliliğinin artırılmasını, işlem süresiyle kontrol eden bir mekanizmaya sahiptir. Bu bağlamda, çalışmada dağlama süresinin değiştirilmesiyle gözenek çapları kontrol edilmiştir. Kimyasal dağlama işlemi 30 °C'lik 0,1 M fosforik asit çözeltisi içerisinde 0, 30 ve 60 dakikalık süreler boyunca uygulanarak, farklı por büyüklüklerine sahip anodik oksit şablonların üretimi gerçekleştirilmiştir. Yapılan işlemlerin özetlendiği akış şeması Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Yapılan işlemlere ait akış şeması

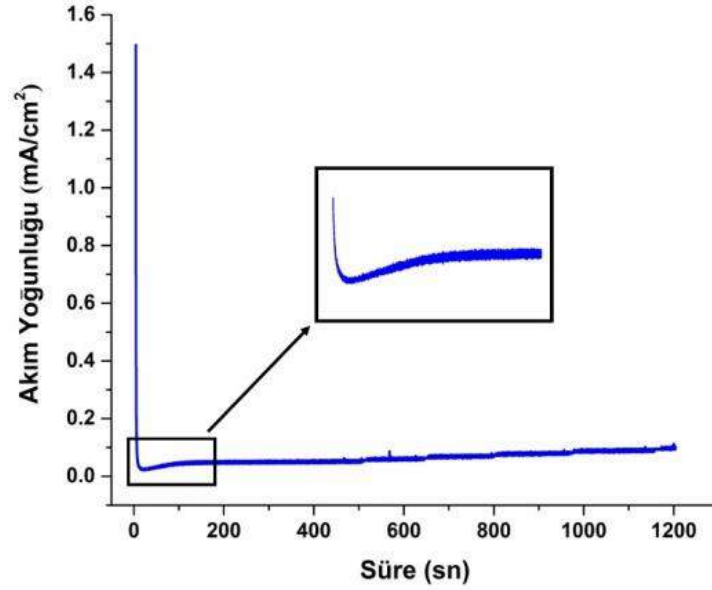
## 2.1. Karakterizasyon

Por yapıları hakkında detaylı bilgiye sahip olmak için alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu Philips-XL30 FEG-SEM (FEI, Eindhoven, Hollanda) kullanılmıştır. İncelemeler öncesinde oksit yüzeyinin elektron iletkenliğine uygun olmaması ve elektron yüklenme etkisini ortadan kaldırmak için altın-paladyum karışımı ile birkaç dakika süresince kaplanmıştır. Yüzey görüntüleme işlemi için 10 ve 20 kV hızlandırma voltajı kullanılmıştır. SEM ile numunelerin yüzey topografileri ikincil elektron ışınları yardımıyla incelenmiş ve anodik oksidasyon işlemi sonrası por çapları ölçülmüştür. Anodik oksidasyon işleminin en önemli değişkenlerinden biri de oksit por çaplarıdır. Por çaplarının ölçülmesinde birden fazla yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden en yaygın yüzey görüntüsü ile gerçekleştirilen ölçümlerdir. Bu çalışmada ortalama por çaplarının ölçümü "imageJ" programı yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Aynı koşula ait farklı yüzey görüntülerindeki en az 25 por kullanılarak ortalama por çapları hesaplanmıştır.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Akım Yoğunluğu-Zaman Davranışları

Bu çalışmada, anodik oksidasyon sürecini daha iyi anlamak için ikinci anodik oksidasyona ait akım yoğunluğu - süre (I-t) grafiği Şekil 2'de gösterilmiştir. Akım yoğunluğu başlangıçta saf alüminyumun yüksek iletkenliğinden dolayı yüksek değerden başlamış, yüzeyde sıkı bariyer tip oksit tabakası oluştuğu için çok hızlı bir şekilde azalmıştır. Hızlı düşüşün ardından gelen hafif artış, bariyer tabakasının kalınlığında ki düşüşe neden olan gözenek derinliğindeki artıştan kaynaklanmaktadır. Son kısımda ise akım yoğunluğu, porların alüminyum yüzeyi boyunca yayılmaya başlamasıyla sabit bir değere ulaşmıştır. Gerçek akım yoğunluğu ve anodik oksidasyon zaman verileri, anodik oksidasyon sürecini dolayısıyla gözenek derinliğini ve gözenek geometrisini kontrol etmek/ayarlamak için kullanılmaktadır. Akımdaki düşüş oranı, önemli bir şekilde anodik filmin düzgünlüğüne dayanır bu da yüzeyde biriktirilmiş metal katmanın pürüzlülüğüne bağlıdır. Çalışma sonunda elde edilen akım yoğunluğu - anodik oksidasyon süresi grafiği ile anodik oksidasyon işleminin arzu edilen bir şekilde gerçekleştiği tespit edilmiştir (Ma, 2010; Sheasby, P., & Pinner, 2001; Sulka, 2008).

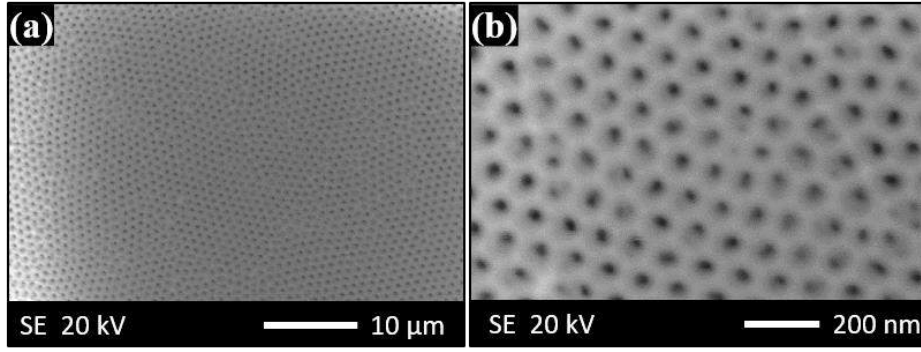


Şekil 2. Poröz filmin gelişiminde farklı gerilim değerlerindeki deneylere ait akım yoğunluğu-süre grafikleri

### 3.2. Mikroyapısal İncelemeler

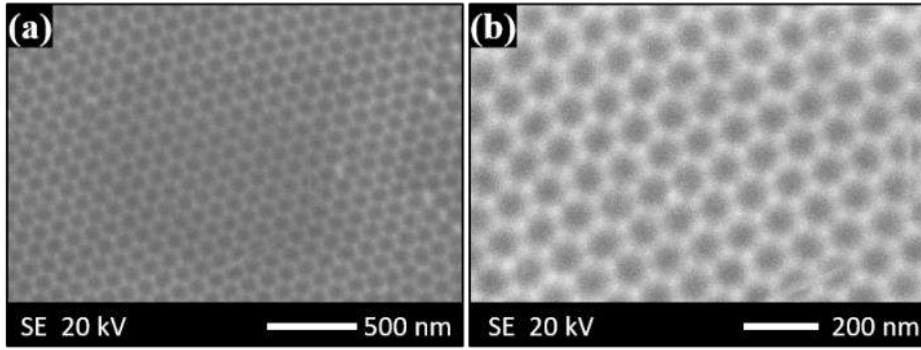
İlk aşama anodik oksidasyon işleminden sonra, Şekil 3 (a ve b)'de gösterildiği gibi porların şekilleri ve boyutları geniş bir dağılım aralığı göstermiştir. Burada alüminyum üzerindeki porlar, rastgele yönlendirilmiş bir şekilde düzensiz olarak oluşmuştur. Gözenekleri doğrudan aşağıdan yukarıya doğru dik bir şekilde üretmek ve düzenli olarak dağıtmak için ikinci aşama anodik oksidasyon işlemi gereklidir.





Şekil 3. İlk aşama anodik oksidasyon işleminden (0,3 M oksalik asit, 10 saat) sonra oksit tabakasının farklı büyütmelerde yüzey SEM görüntüleri

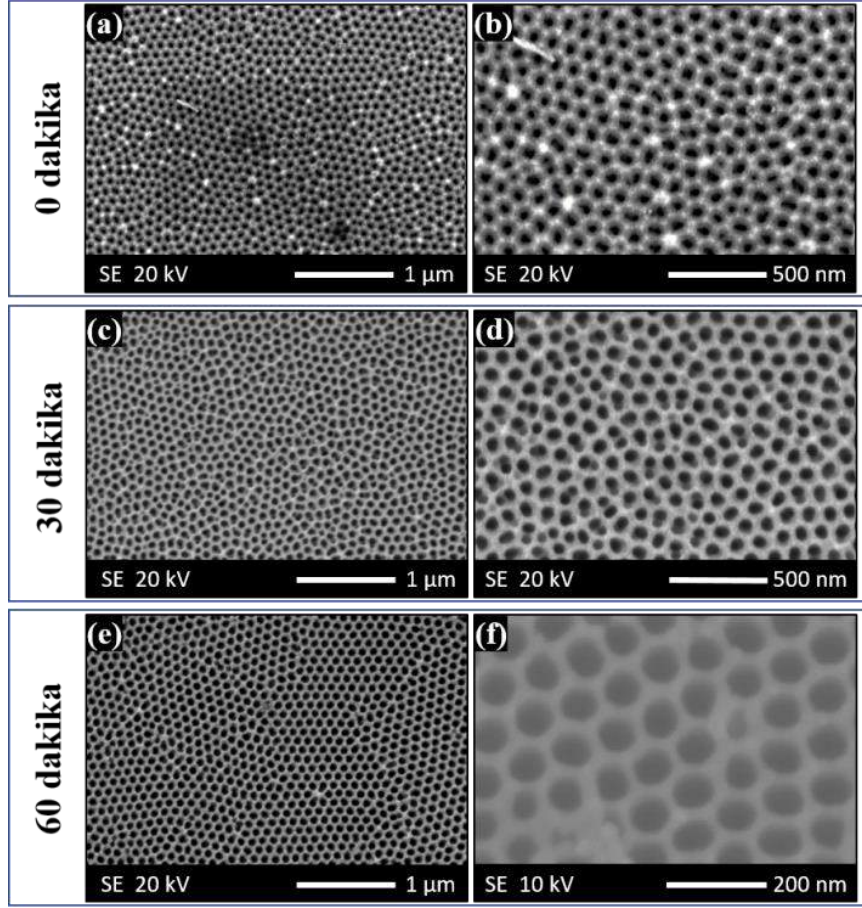
Oksit film tabakasının numune yüzeyinden kimyasal dağlama yoluyla uzaklaştırılmasından sonra, ikinci aşama anodik oksidasyon için bir şablon olarak rol oynayan bal peteği yapıları deseni, Şekil 4 (a ve b)'de gösterildiği gibi elde edilmiştir. Şekil 4'te görülen her altıgenin boyutu yaklaşık 100 nm ve derinlikleri ise yaklaşık 5 nm'dir.



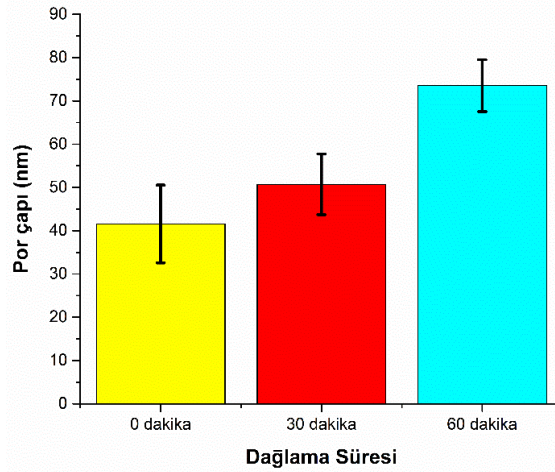
Şekil 4. İlk aşama anodik oksidasyon işleminin ardından uygulanan kimyasal dağlama ile elde altıgen desenin farklı büyütmelerde yüzey SEM görüntüleri.

İkinci aşama anodik oksidasyon işleminden sonra, farklı çaplara sahip düzgün altıgen ve iyi düzenlenmiş gözenekler, Şekil 5 (a-f)'de gösterildiği gibi oluşturulmuştur. Orijinal gözenek çapı (por genişletme olmaksızın), Şekil 5 (a ve b)'de gösterildiği gibi yaklaşık  $41 \pm 9$  nm'dir. Fosforik asit çözeltisinde 30 ve 60 dakika boyunca gözenek genişletme işleminden sonra, gözenek çapı sırasıyla  $50 \pm 7$  nm ve  $73 \pm 6$  nm'ye büyütülmüştür. Por genişletmenin amacı, por duvarlarının kalınlığını azaltarak por çaplarını büyütme için 60 dakikadan daha uzun süreli por genişletme işlemi por yapısına zarar vereceği için uygun değildir. Por genişletme süresine bağlı olarak por değişimleri Şekil 6'daki grafikte gösterilmiştir. Şekil 5 ve 6'dan görüleceği üzere por genişletme işlem süresinin artmasıyla oksit porlarının homojenliği ve dairesellik değerleri artmıştır. Artan işlem süresiyle tespit edilen bu durum Ersching ve ark. (Ersching et al., 2012) yaptıkları çalışmada da doğrulanmıştır.





Şekil 5. İkinci anodik oksidasyon işleminden sonra oksit filmin yüzey farklı büyütmelerde SEM görüntüleri (a-b) Por genişletme yapılmadan (c-d) 30 dakika por genişletme (e-f) 60 dakika por genişletme



Şekil 6. Por genişletme süresine bağlı olarak ortalama por çaplarının değişimleri

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada saf alüminyum yüzeyinde gerçekleştirilen iki aşamalı anodik oksidasyon işlemi başarıyla gerçekleştirilmiş olup, iki aşamalı işlem sonunda orijinal ortalama gözenek çapı yaklaşık  $41 \pm 9$  nm olarak hesaplanmıştır. 30 ve 60 dakika boyunca gerçekleştirilen por genişletme işlemi por duvarlarının kalınlığını azaltarak por çaplarını büyümesine olanak sağlamıştır. Gözenek çapları 30 ve 60 dakikalık genişletme işleminden sonra sırasıyla  $50 \pm 7$  nm ve  $73 \pm 6$  nm olarak hesaplanmıştır. Por genişletme işlemi por çapını genişletmesinin yanı sıra daha düzenli bal peteği yapısına ulaşılmasına neden olmuştur. Farklı büyüklüklere sahip nanotellerin/tüplerin üretiminde arzu edilen bu durum sayesinde daha düzgün ve homojen nano yapıların üretimi gerçekleştirilebilecek ve bu malzemelerin mekanik testleri sonucunda boyut etkisi üzerine çalışmalar yürütülmesine olanak sağlanacaktır.

## **Kaynakça**

- Bouchama, L., Azzouz, N., Boukmouche, N., Chopart, J. P., Daltin, a. L., & Bouznit, Y. (2013). Enhancing aluminum corrosion resistance by two-step anodizing process. *Surface and Coatings Technology*, 235, 676–684. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2013.08.046>
- Diggle, J., Downie, T., & Goulding, C. (1969). Anodic oxide films on aluminum. *Chemical Reviews*, 66(3), 365. <https://doi.org/10.1021/cr60259a005>
- Dimiduk, D. M., Uchic, M. D., & Parthasarathy, T. A. (2005). Size-affected single-slip behavior of pure nickel microcrystals. *Acta Materialia*, 53(15), 4065–4077. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2005.05.023>
- Erdogan, P., Yuksel, B., & Birol, Y. (2012). Effect of chemical etching on the morphology of anodic aluminum oxides in the two-step anodization process. *Applied Surface Science*, 258(10), 4544–4550. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2012.01.025>
- Ersching, K., Dorico, E., Da Silva, R. C., Zoldan, V. C., Isoppo, E. a., Viegas, a. D. C., & Pasa, a. a. (2012). Surface and interface characterization of nanoporous alumina templates produced in oxalic acid and submitted to etching procedures. *Materials Chemistry and Physics*, 137(1), 140–146. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2012.08.058>
- Greer, J. R., & De Hosson, J. T. M. (2011). Plasticity in small-sized metallic systems: Intrinsic versus extrinsic size effect. *Progress in Materials Science*, 56(6), 654–724. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2011.01.005>
- Greer, J. R., Oliver, W. C., & Nix, W. D. (2005). Size dependence of mechanical properties of gold at the micron scale in the absence of strain gradients. *Acta Materialia*, 53(6), 1821–1830. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2004.12.031>
- Han, X. Y., & Shen, W. Z. (2011). Improved two-step anodization technique for ordered porous anodic aluminum membranes. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 655(1), 56–64. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2011.02.008>
- Iglesias-Rubianes, L., Skeldon, P., Thompson, G. E., Shimizu, K., & Habazaki, H. (2001). Influence of current density in anodizing of an Al-W alloy. *Corrosion Science*, 43(12), 2217–2227. [https://doi.org/10.1016/S0010-938X\(01\)00022-1](https://doi.org/10.1016/S0010-938X(01)00022-1)
- Ilango, M. S., Mutalikdesai, A., & Ramasesha, S. K. (2016). Anodization of Aluminium using a fast two-step process. *Journal of Chemical Sciences*, 128(1), 153–158. <https://doi.org/10.1007/s12039-015-1006-8>
- Kiener, D., Motz, C., Schöbert, T., Jenko, M., & Dehm, G. (2006). Determination of mechanical properties of copper at the micron scale. *Advanced Engineering Materials*, 8(11), 1119–1125. <https://doi.org/10.1002/adem.200600129>
- Konno, H., Utaka, K., & Furuichi, R. (1996). A two step anodizing process of aluminium as a means for improving the chemical and physical properties of oxide films. *Corrosion Science*, 38(12), 2247–2256. [https://doi.org/10.1016/S0010-938X\(97\)83145-9](https://doi.org/10.1016/S0010-938X(97)83145-9)
- Li, A. P., Müller, F., Birner, A., Nielsch, K., & Gösele, U. (1999). Polycrystalline nanopore arrays with hexagonal ordering on aluminum. *Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films*, 17(4), 1428–1431. <https://doi.org/10.1116/1.581832>
- Liu, Y.-F., Wang, F.-H., Guo, D.-L., Huang, S.-Y., Sang, J.-P., & Zou, X.-W. (2009). Effects of heat treatment on optical absorption properties of Ni-P/AAO nano-array composite structure. *Applied Physics A*, 97(3), 677–681. <https://doi.org/10.1007/s00339-009-5289-9>
- Ma, Y. (2010). Effect of Microstructure on corrosion resistance and anodising behaviour of AA 2099-T8 aluminium alloy, 1–311.
- Masuda, H., & Fukuda, K. (1995). Ordered Metal Nanohole Arrays Made by a Two-Step Replication of Honeycomb Structures of Anodic Alumina. *Science*, 268(5216), 1466–1468. <https://doi.org/10.1126/science.268.5216.1466>
- Moldovan, V., Bruj, E., & Jumate, N. (2011). Porous anodic alumina films obtained by two step anodization. *Bulletin of the Transilvania University of Braşov Series I: Engineering Sciences*, 4(2), 75–80. <https://doi.org/10.1007/s10008-011-1471-z>
- Montero-Moreno, J. M., Sarret, M., & Müller, C. (2007). Influence of the aluminum surface on the final results of a two-step anodizing. *Surface and Coatings Technology*, 201, 6352–6357. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2006.12.003>
- Montero-Moreno, J. M., Sarret, M., & Müller, C. (2007). Some Considerations on the Influence of Voltage in Potentiostatic Two-Step Anodizing of AA1050. *Journal of The Electrochemical Society*, 154(3), 169–174. <https://doi.org/10.1149/1.2426880>
- Ng, K. S., & Ngan, A. H. W. (2008). Stochastic nature of plasticity of aluminum micro-pillars. *Acta Materialia*, 56(8), 1712–1720. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2007.12.016>
- Sheasby, P., & Pinner, R. (2001). The surface treatment and finishing of aluminium and its alloys.
- Stelmashenko, N. A., Walls, M. G., Brown, L. M., & Milman, Y. V. (1993). Microindentations on W and Mo oriented single crystals: An STM study. *Acta Metallurgica Et Materialia*, 41(10), 2855–2865. [https://doi.org/10.1016/0956-7151\(93\)90100-7](https://doi.org/10.1016/0956-7151(93)90100-7)
- Sulka, G. D. (2008). Highly Ordered Anodic Porous Alumina Formation by Self-Organized Anodizing. In *Nanostructured Materials in Electrochemistry* (pp. 1–116). <https://doi.org/10.1002/9783527621507.ch1>
- Thompson, G., Xu, Y., & Skeldon, P. (1987). Anodic oxidation of aluminium. *Philosophical Magazine Part B*, 55(6), 651–667. <https://doi.org/10.1080/13642818708218371>
- Uchic, M. D., Dimiduk, D. M., Florando, J. N., & Nix, W. D. (2004). Sample dimensions influence strength and crystal plasticity. *Science*, 305(5686), 986–989. <https://doi.org/10.1126/science.1098993>
- Zaraska, L., Sulka, G. D., & Jaskuła, M. (2010). The effect of n-alcohols on porous anodic alumina formed by self-organized two-step anodizing of aluminum in phosphoric acid. *Surface and Coatings Technology*, 204(11), 1729–1737. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2009.10.051>
- Zaraska, L., Sulka, G. D., & Jaskuła, M. (2011). Anodic alumina membranes with defined pore diameters and thicknesses obtained by adjusting the anodizing duration and pore opening/widening time. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 15(11–12), 2427–2436. <https://doi.org/10.1007/s10008-011-1471-z>
- Zhou, J. H., He, J. P., Zhao, G. W., Zhang, C. X., Zhao, J. S., & Hu, H. P. (2007). Alumina nanostructures prepared by two-step anodization process. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 17(1), 82–86. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(07\)60052-1](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(07)60052-1)



# Bir Mobilya Üretim Tesisinde İş Analizi ve Benzetim Uygulaması ile Süreç Verimliliğinin Artırılması

Abdullah Sütçü<sup>1\*</sup>, Osman Karşıyaka<sup>2</sup>, Mustafa Emrah Burhan<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4200-917X)

<sup>2</sup> Konfor Dayanıklı Tüketim Malları Mobilya Deri Tekstil İnşaat Turizm San.ve Tic.A.Ş., İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1668-5484)

<sup>3</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6913-707X)

(İlk Geliş Tarihi 22 Ağustos 2019 ve Kabul Tarihi 11 Eylül 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.609563)

**ATIF/REFERENCE:** Sütçü, A., Karşıyaka, O. & Burhan, M. E. (2019). Bir Mobilya Üretim Tesisinde İş Analizi ve Benzetim Uygulaması ile Süreç Verimliliğinin Artırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 45-57.

## Öz

Türkiye mobilya endüstrisi, dış ticaret fazlası veren, sürekli büyüyen ve ülke sathına yayılmakla birlikte yüksek istihdam imkânı sağlayan ve böylece bölgeler arası eşitsizliği gidermeye yönelik misyonu yerine getiren önemli bir sektördür. Ancak, sektörde faaliyet gösteren işletmelerin küresel pazarlarda rekabet edebilmeleri ve faaliyetlerini devam ettirebilmeleri için maliyetleri düşürmekle birlikte verimliliği ve kaliteyi yükselten sürekli iyileşme tekniklerini de kullanmaları her geçen gün daha da zorunlu hale gelmektedir. Bu kapsamda gerçekleştirilen çalışmada; büyük ölçekli bir mobilya fabrikasının bazı üretim süreçleri ele alınarak verimliliğinin ve etkinliğinin artırılmasına yönelik yeniden organizasyon faaliyetleri örnek uygulamalar olarak gerçekleştirilmiş, üretim sistemin etkinliğini düşüren başlıca sorunlar literatür ışığında ve imalat ortamında gerçekleştirilen gözlemler yoluyla irdelenerek, imalat temin süresi, süreç içi stok değeri, kapasite kullanım oranları ve diğer performans göstergelerinin iyileştirilmesi, verimliliğinin ve etkinliğinin artırılması hedeflenmiştir. Geliştirme-iyileştirme modelleri olarak imalat atölyesine ait iş ve işlemlerin gerçekleştiği darboğaza sebep olan iş istasyonlarında iş zenginleştirme, iş basitleştirme ve iş değişimi gibi yeniden organizasyon tedbirleri uygulanmış, süreç içi stokların azaltılması ve katma değer oluşturmayan faaliyetlerin ortadan kaldırılması sağlanmıştır. Bununla birlikte, ele alınan ürünün üretim sürecine ait iş ve zaman etüdüleri REFA formları kullanılarak gerçekleştirilmiş, iş analizi ile öncesi-sonrası durumlar çalışma içerisinde paylaşılmıştır. Yeniden organizasyon ve sistemin geliştirilmesi için ilgili ürüne ait sürecin benzetim modeli Arena 14.0 benzetim yazılımı üzerinde oluşturulmuştur. Simülasyon modelinde faaliyetlere ait hazırlık ve işlem zamanları stokastik veri, iş yükleri, makina ve personel sayıları, parti büyüklükleri ile çalışma süreleri deterministik veri olarak ele alınmıştır. Çalışma sonucunda; çevrim zamanında 34dk kazançla üretim verimliliğinde %10'luk artış, iş istasyonlarında farklı olmakla birlikte kapasite kullanım oranlarında iyileşme ve zamanında teslim edilebilir ürün oranında artış sağlanmıştır. Ancak, bu kazanımların sürekliliği; kurumsal kültürün yerleşmesi ve iyileştirme çalışmalarının devamlılığına bağlıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Modelleme, İş Etüdü, Arena, Kapasite Kullanım Oranı, Orman Endüstri Mühendisliği

## Improving Process Efficiency in a Furniture Production Facility with Work Analysis and Simulation: Case Study

### Abstract

Turkey's furniture industry, foreign trade surplus, steady growth, to be spread over the country and is an important sector for fulfilling the mission of reducing inequalities between regions due to the possibility of creating high levels of employment. However, it is becoming more and more necessary for companies operating in the sector to use continuous improvement techniques that increase

\* Sorumlu Yazar: Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, ORCID: 0000-0003-4200-917X, [abdulahsutcu@isparta.edu.tr](mailto:abdulahsutcu@isparta.edu.tr)



productivity and quality while reducing costs in order to compete and sustain their viability in global markets. In this study; some production processes of a large-scale furniture factory were discussed and reorganization activities aimed at increasing productivity and efficiency were carried out as case study. In this study, the main problems that decrease the efficiency of the production system are examined in the light of the literature and observations made in the manufacturing environment. It is aimed to improve performance indicators such as manufacturing lead time, work in process and utilization rates. As the improvement models, job design method such as rotation, simplification, enlargement and enrichment of jobs, were applied in the workstations that caused bottleneck, and work in process (WIP) were reduced and activities that non value added were eliminated. In addition, time and motion studies related to the production process of the product discussed were carried out using REFA forms, and before and after statements were shared in the study. For the reorganization and the improvement of the system, the simulation model of the related product process was modelled on Arena 14.0 simulation software. In the simulation model, the set-up and processing times of the activities are considered as stochastic data, workloads, number of machines and personnel, lot sizes and working hours as deterministic data. After the studied observed that, increase in efficiency with 34 minutes (10%) gain in cycle time, improvement in utilization rates and increase in on-time delivery rate, although different in workstations. However, the continuity of these gains; It depends on the establishment of corporate culture and the continuity of improvement studies.

**Keywords:** Modelling, Work Study, Arena, Utilization Rate, Forest Product Engineering.

## 1. Giriş

Türkiye mobilya endüstrisinin ulusal imalat sanayii içerisindeki önemi her geçen gün daha da artmaktadır. Sektör, 2018 yılında 3,1 milyar dolar döviz kazandırmış, 2,3 milyar dolar dış ticaret fazlası vermiş ve 2023 yılı için 6 milyar dolar ihracat hedefini ortaya koymuştur (Orsiad, 2019). Ulusal kalkınma için bu özellikleri yanında, ülke sathına yayılmış irili ufaklı birçok firma ile işletme sayısı açısından imalat sanayi içerisindeki dördüncü sırada yer alırken bölgeler arası ekonomik eşitsizliği gidermeye yönelik önemli bir argüman olmaya devam etmektedir. Ancak, küresel oyuncular özellikle Çin ve diğer Uzak Asya ülkelerinin hemen hemen tüm pazarlarda rekabette öne geçmeleri diğer ekonomileri olduğu gibi Türkiye mobilya endüstrisini de tehdit etmektedir.

Türkiye mobilya endüstrisinde, son 20 yıla kadar küçük atölyelerde kısıtlı üretim hacimlerinde sadece yöresel pazarlara yönelik ve yoğun insan gücü kullanılarak üretim yapılırken günümüzde ise daha yoğun bir teknoloji kullanan, markalaşmış, özgün tasarımlar üretebilen, uluslararası piyasalarda rekabet edebilen, kitlesel üretim yapma imkânlarına sahip hatlardan oluşan birçok tesis bulunmaktadır. Bu tesisler ile küresel piyasalarda rekabet avantajı elde edebilmek için, rakiplerde var olan, özellikle hammadde, enerji ve işçilik maliyetlerindeki avantajlara karşılık, özgün tasarımların ön planda olduğu katma değeri yüksek ürünleri, verimlilik ve kalite odaklı sürekli gelişme stratejileri ile gerçekleştirme zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.

Mobilya üretimi genel itibarıyla kesikli üretim sistemine sahiptir. Kesikli üretim sisteminde operasyonlar arası dengesizlikler mevcuttur. Bu dengesizliğin sebep olduğu performans kayıpları (temin sürelerinin uzunluğu, zamanında siparişin teslim edilememesi, düşük kapasite kullanım oranları vb.) ara stok miktarlarını yüksek tutarak veya etkin çözümlerle yöntemleri ve ürün odaklı yeniden organizasyon tedbirleri ile dengeli bir üretim yapılması ile bertaraf edilebilir. Bu çalışma kapsamında, üretim sürecindeki darboğazlar iş analizi ile tespit edilmiş, süreçteki faaliyetler iş birleştirme, iş basitleştirme ve iş değişimi gibi yeniden organizasyon tedbirleri ile benzetim modelleri üzerinde uygulanarak süreç içi stoklarının azaltılması, katma değer oluşturmaya faaliyetlerin ortadan kaldırılması ve diğer performans göstergelerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

Literatürde iş etüdü tekniklerinden yararlanılarak verimliliğin ekstra bir yatırım gerektirmeden artırılmasına yönelik birçok çalışma bulunmaktadır. Örneğin; Dizdar ve Özen (2001), bir mobilya fabrikasında üretimin kritik noktasını teşkil eden panel kesim atölyesinde bulunan yatay levha kesme iş istasyonu önünde oluşan birikimlerden dolayı üretim hattında görünen yavaşlamaları ele alarak iş etüdü çalışması yapmıştır. Yapılan çalışma sonucu metot ve zaman etüdü düzenlemeleriyle %66,5 oranında zaman kazancı ve önemli oranda verimlilik artışı sağlamıştır.

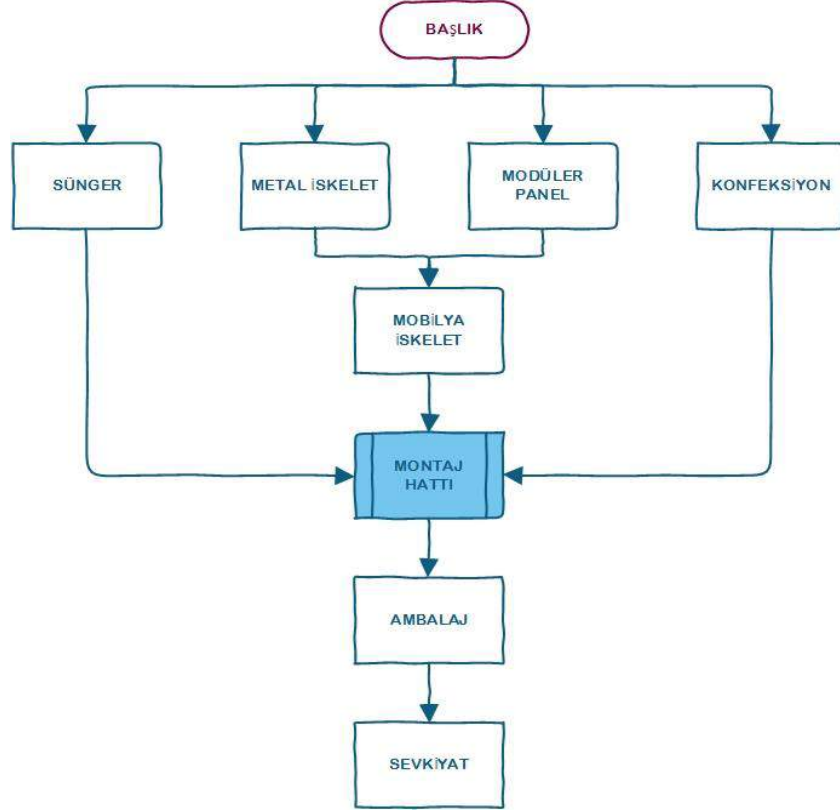
Bu çalışmalar neticesinde önerilen yeniden organizasyon faaliyetlerinin işletmede bilfiil uygulanması ve sonuçlarının tecrübe edilmesi ekonomiklik ve zaman açısından her zaman tercih edilememektedir. Oluşacak maliyetler ve zaman kaybı bir çok kez karar vericilerin ikna edilmesini zorlaştırmaktadır. Bu durumda kullanılan en önemli araç ise bilgisayar destekli benzetim araçlarıdır. Benzetim destekli çalışmalar imalat sanayiinde özellikle otomotiv ve tekstil sektörlerinde yıllardır çok başarılı bir şekilde uygulanırken son yıllarda orman ürünleri endüstrisinde de azımsanmayacak düzeyde gerçekleştirilmektedir. Örneğin; emek yoğun sektörlerden biri olan mobilya endüstrisine yönelik yapılan bir çalışmada benzetim modeli üzerinde personel ve iş organizasyonu açısından değişiklikler yapılarak daha iyi performans gösteren yeni bir organizasyonel modelde daha az personel ile daha yüksek termin karşılama oranına ulaşılmıştır (Sütçü vd., 2006). Benzer bir diğer çalışmada da; kapasite planlanması, planlama sonucu personel transferi, alternatif ürün rotalama ve fazla mesai olanakları Arena simülasyon programı yardımıyla mobilya endüstrisinde bir model üzerinde uygulanmıştır (Kaya, 2001). Sütçü vd. (2011), karma hücreli düzenleme, müşteri-sipariş-ürün ve görev odaklı organizasyonel yapıların performans ölçütleri üzerinde etkisini araştırmıştır. Değerlendirilen modeller üzerinde kapasite kullanım oranı açısından yaklaşık %40'lık iyileşme sağlanmıştır. Kereste endüstrisine yönelik bir çalışmada ise; üretim sisteminin kesim işlemlerine yönelik süreç iyileştirme uygulaması yapılmıştır. Çalışmada alternatif senaryolar geliştirilerek mali açıdan tasarruf edilmesi amaçlanmış, kesim hattının bir bölümünde bulunan daire testerenin mevcut yerinin değişmesi ve kesim hattının 1/3 oranında kısalması neticesinde işletmeye %42,6 oranında önemli tasarruf kazancı sağlanacağını tespit edilmiştir (Arslan vd., 2015). Yiğit (2012), darboğaz oluşturan makinelerle yönelik geliştirdiği stratejiler ile toplam üretim süresini %28 kısaltmış ve makinelerin kullanım oranlarını %40'lara varan oranlarda yükseltmiştir. Daşçı (2010), yalın üretim tekniklerinden faydalanarak oluşturduğu senaryoların

performans gelişimlerini Arena benzetim yazılımıyla ortaya koymuştur. Arena benzetim yazılımıyla yapılan bir diğer çalışmada da üretim sahasındaki malzeme taşıma sistemi ve alternatifleri modellenmiş, konveyör sistemlerinin kullanımının uzun dönemli daha uygun olduğu ifade edilmiştir (Kuvvetli vd., 2017).

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal: İşletme ve Üretim Süreci

Çalışmada materyal olarak İzmir’de faaliyet gösteren yatak, baza, başlık ve oturma grubu mobilyaları üreten bir mobilya üretim tesisinin verileri kullanılmıştır. Üretim süreçlerinde yeni teknolojileri kullanan işletme Türkiye’nin lider mobilya üreticisi olma yolunda hızla ilerlemektedir. Üretim süreci incelenen ürün, metal-masif konstrüksiyon üzerine sünger ve kumaş katmanlarından oluşmaktadır. Çalışmaya esas alınan “Baza başlığı” ürünü için genel süreç şeması şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1. İlgili Ürüne ait Genel Süreç Şeması

Kullanılan tüm yarı mamul ihtiyaçları yurt içinden sipariş edilir, en çok kara ve deniz yoluyla tedarik sağlanır. İşletmede hammadde stok seviyeleri ve dinamik müşteri talepleri MRP planları ile takip edilmektedir. Dış sipariş temin süreleri yarı mamuller arası değişiklik göstermekle birlikte bazı dönemlerde kumaş ve sünger gibi ürünlerde 35 güne kadar çıkabilmektedir. Bu durum hammadde stoklarının yüksek tutulmasını gerekli kılmaktadır.

Üretim planlama bölümü, ana üretim çizelgesini haftalık üretim planı şeklinde yapmaktadır. Planın sonlanmasıyla her bölüme haftalık üretim planı ve günlük iş emirleri (iş takip formları) gönderilmektedir. Mamul başlık üretimi için metal, mobilya iskelet, sünger, modüler panel ve konfeksiyon bölümlerindeki gerçekleştirilen faaliyetler neticesinde döşeme montaj hattı ile mamul başlık üretimi sonuçlanır. Emek yoğun olarak gerçekleştirilen işlemlerin her biri farklı iş istasyonlarında farklı operatörler tarafından gerçekleştirilir. Gizlilik gereği firmaya ve üretim süreçlerine ait ayrıntılı bilgiler çalışma içerisinde sınırlı düzeyde paylaşılmıştır. Kesikli üretim sistemiyle parti tipi üretim yapan bu işletmeye ait bilgiler, imalat atölyesi mevcut yerleşim düzeni ile imalat süreçleri ve analiz edilen ürüne ait bazı detay veriler bu çalışmanın verilerinin temin edildiği, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü bünyesinde hazırlanan yüksek lisans tez içeriğinde ve bu tezden üretilerek Bilge International Journal of Science and Technology Research dergisinde yayınlanan içerikte daha kapsamlı bir şekilde verilmiştir (Karşıyaka, 2018; Karşıyaka ve Sütçü, 2019).

### 2.2. Yöntem: Verimliliği Artırmaya Yönelik Uygulamalar

Çalışma kapsamında verimliliği artırmaya yönelik uygulamalar olarak; öncelikle iş etüdü uygulamaları başlığı altında iş-zaman etütlerinin nasıl yapıldığı, sisteme ait verilerin toplanması ve iş analizi konularına değinilmiş, ardından literatürde ve uygulamada yoğun kullanım alanı bulan benzetim ile sistemin yeniden tasarımı gerçekleştirilmiştir.

#### 2.2.1. İş Etüdü Uygulamaları

İş etüdü, insan, makine ve malzeme arasında gerçekleşen tüm etkileşimleri verimliliğe dönüştürmeye çalışan, bu etkileşimleri geliştirerek işin kalitesini artıran metot etüdü ve iş ölçümü tekniklerini içeren genel bir terimdir. Her iki teknik te ayrı öneme sahiptir. Metot etüdü, maliyetleri düşürmek ve işi daha kolay yapılır hale getirebilmek için daha etkin ve kolay metotlar ile yöntemlerin geliştirilmesi, iş akışının mevcut veya önerildiği haliyle sistematik olarak kayıt edilmesi ve eleştirisel gözle incelenmesi olarak tanımlanabilir. İş ölçümü ise kalifiye bir personelin standartları tanımlı bir işi belirli bir tempo düzeyinde yerine getirebilmesi için gerekli süreyi saptamak üzere kullanılan teknikleri ifade eder (Kurt ve Dağdeviren, 2003). Metot etüdü uygulanacak süreçlerin belirlenmesinde, tercih edilen işin ekonomik değeri önemlidir. Uzun süreli ve uygulanamayacak olan işler üzerinde araştırmalar yapılması, gereksiz zaman ve emek kaybına neden olabilir. Metot etüdü uygulanacak işlerin belirlenmesinden sonra işe ait tüm bilgilerin sistematik hâlde kayıt altına alınması gerekmektedir. Bu amaçla iş akış analiz formları kullanılmaktadır.

İş etüdü çalışma süreçleri aşağıdaki gibi gerçekleşmektedir (Dal, 2010):

- İşin yapılış sürecini etkileyen çevre koşullarının ve çalışan personel ile ilgili verilerin araştırılması ve kaydedilmesi
- İşin ayrıntılı tanımlanması ve akışlarına ayrılması
- İş akışlarının ayrıntılı incelenmesi ve etkin metodun uygulandığından emin olunması
- Çalışan tarafından gerçekleştirilen her işlem zamanının ölçülmesi ve kayıt altına alınması
- Çalışanın işi yaparken tempo değerlerinin saptanması

Zaman etüdünün ilgili personel tarafından yapılabilmesi için kronometre (Süre ölçer) ve iş etüdü formları gereklidir. Çeşitli zaman etüdü formları bulunmakla birlikte bu çalışma kapsamında REFA tarafından tekrarlı iş akışları için geliştirilen Zaman Etüdü formu (Z2) kullanılmıştır (MESS-REFA, 2005). Zaman etüdü, işletmedeki 4 ayrı bölüme %95 istatistiksel güven düzeyini sağlayacak şekilde yeter sayıda örneklem yapılarak uygulanmıştır. İş sürecinde bulunan tüm faaliyetler ayrıntılı biçimde doğrudan gözlemlenerek, ve REFA zaman etüdü prosedürü uygulanarak faaliyetlere ait süreç verileri belirlenmiştir. Genel itibariyle üretim süreci; aşağıda belirtilen dört aşamada ve ayrı imalat birimlerinde gerçekleşmektedir:

- Hammadde kumaş depo işlemleri ve konfeksiyon (kumaş kesim, dikim) iş istasyonu
- Metal iskelet iş istasyonu
- Mobilya iskelet (metal-masif konstrüksiyon montajı) iş istasyonu
- Döşeme (Montaj hattı) atölyesi

### **2.2.2. Benzetim İle Sistemin Yeniden Organizasyonu**

Üretimdeki girdileri oluşturan hammadde, makine, iş gücü, zaman vb. kaynakların etkin kullanım koşulunu sağlamak için alınacak kararlar yöneticiler için oldukça önem arz etmektedir. Kaynakların ihtiyaçları ve planlamasını en etkin biçimde kullanılmasını sağlamak adına kullanılacak en etkili tekniklerden biri benzetim-simülasyon tekniğidir. Bu çalışmada simülasyon ve benzetim eş anlamlı olarak kullanılmıştır. Çalışma kapsamında incelenen üretim iş sürecine ait belirli bir bölümün benzetim modeli Arena programı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Arena, Rockwell Automation tarafından geliştirilen, SIMAN modelleme dilini kullanarak girdi ve çıktı analizi araçlarına sahip, görsel öğelerle desteklenmiş bir yazılımdır. Karmaşık sistemlerin modellenmesi ve analizi için güçlü bir araçtır. Sistemin belirli bir rejim veya bir dizi parametre altında ne kadar iyi performans gösterdiğinin anlaşılmasına yardımcı olur (Altıok ve Melamed, 2007).

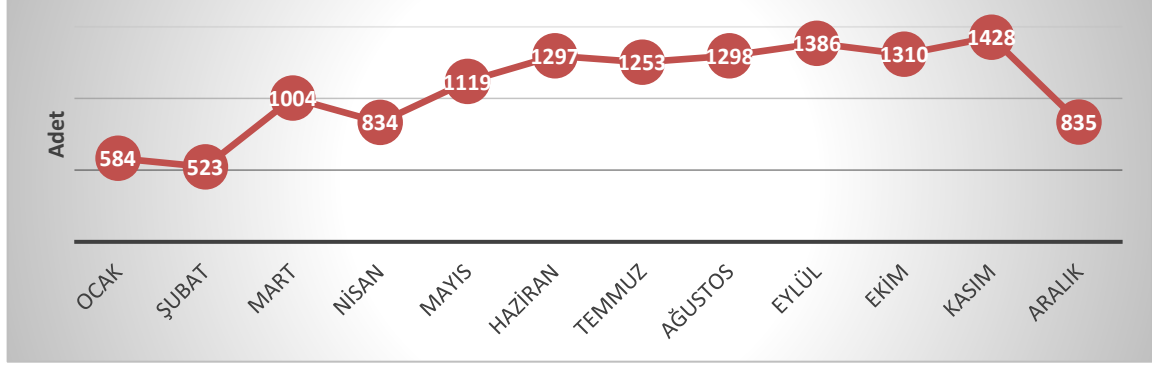
Arena'da üretim sistem modelinin oluşturulması için ilgili pencereleri kullanarak veri girişleri kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir. Bir siparişin tamamlanması sürecinde gerçekleştirilen her türlü faaliyet, bir kaynak (makine, iş istasyonu veya personel) talep etmektedir. Arena, üretim sisteminde siparişin yerine getirilmesini, birçok benzetim programlarında da görüldüğü gibi farklı iş akışlarının oluşturduğu dinamik sipariş akışı olarak ele almaktadır. Çalışmada diğer ürünler dikkate alınmayıp sadece bir tanesine ait (baza için başlık) üretim süreci modellenmiştir. Bu ürünün seçilme nedeni, ilgili işletme için piyasada en çok talep gören ve sürekli üretilen ürün olmasıdır. Benzetim modelinde ihtiyaç olan hazırlık ve işlem zamanlarının belirlenmesinde iş etüdü ile elde edilen verilerden yararlanılmıştır. Veri analizi aşamasında bazı ihmaller ve varsayımlar yapılmış, sistemin stokastik benzetim modeli oluşturulmuştur.

Kurulan model için aşağıda belirtilen varsayımlar kullanılmıştır:

- Makine ve personel sayıları benzetim süresince sabittir.
- Kuyruklar teslim tarihi en erken sıralama kısıtına göre düzenlenmiştir.
- Tüm iş görenler tek vardiya düzeninde günde 9 saat, haftada 45 saat çalışacak şekilde modellenmiştir.
- Makine arızaları, hatalı parçalar, yeniden işlemler, makine ve birimler arası taşımalar göz ardı edilmiştir.
- Simülasyon koşumu 60 gün için yapılmış, koşum 3 kez tekrarlanmıştır.
- İşletmede başlık üretim sürecinde dokuz farklı iş istasyonu mevcuttur.
- Üretim miktarlarından bağımsız olarak, donanım ve işçi sayıları her istasyonda sabittir.
- Başlık üretim sürecinde tek bir ürünün üretimi yapılmaktadır.
- Üretilecek ürün, işletmenin haftalık üretim planına eklenerek sisteme girmektedir.
- Haftalık üretim planında mevcut olan sipariş miktarını karşılamak için ihtiyaç olabilecek fazla mesai ve ek vardiyalar göz ardı edilmiştir.
- Üretim sürecinde, hammadde yokluğu, makine arıza bakım faaliyetleri, işçilerin iş devamsızlığı vs. gibi sebeplerden dolayı aksamaların meydana gelmediği kabul edilmiştir.



- Tüm iş istasyonları için iş etüdü formları doldurulmuş bu veriler dikkate alınarak iş istasyonuna ait işlem zamanları belirlenmiştir.
- İşlem zamanlarının dağılım modeli Arena tarafından üretilmiş, en düşük hata oranı veren model seçilmiştir.
- İlgili ürün, kumaş, metal-masif konstrüksiyon ve depo bölümlerinden hazır gelen parçaların döşeme montaj hattında bir araya getirilmesiyle imal edilmektedir. Yüzlere modelin hangisinden kaç adet üretileceği tamamen müşteri talepleri doğrultusunda belirlenmektedir. Bu sebeple ilgili ürününün geçmiş aylara ait gerçek satış verileri kullanılarak benzetim modeli kurulmuştur (Şekil 2).



Şekil 2. İlgili Ürüne Ait Aylar İtibariyle Yıllık Talep Dağılımı

Benzetim alt yapısının oluşması için gerekli verilerin yeterli oranda kayıt altında tutulması modellenecek sistemin geçerliliğini ve güvenilirliğini artıracaktır. Bu parametreler doğrultusunda üretim benzetim çıktıları göz önünde bulundurularak sistemde nasıl bir değişim veya gelişimin yaşanabileceği öngörülebilir.

### 3. Araştırma Sonuçları

#### 3.1. Mevcut Duruma Ait Üretim Sürecinin Analizi

Üretim planlama departmanı, ana üretim çizelgesini haftalık üretim planı şeklinde yapmaktadır. Planın sonlanmasıyla her bölüme haftalık üretim planı ve günlük iş emirleri (iş takip formları) gönderilmektedir. Mamul başlık üretimi için bazı bölümlerde gerçekleştirilen faaliyetler aşağıda kısaca özetlenmiş ve mevcut durumda uygulanan tüm iş akışı iş analiz formu üzerinde analiz edilmiştir (Şekil 3).

**Hammadde Kumaş Depo :** Haftalık iş emri verilmesi ile üretilen model için sipariş edilen kumaş topları ve hammadde giriş kalite kontrolü ile uygunluğu onaylanan kumaşlar depoda stoklanır. Burada iş emrine göre belirlenen metrajlarda kumaşlar kesilerek üretime gönderilir.

**Konfeksiyon iş istasyonu:** Hammadde kumaş depo alından gönderilen kumaşların kalıplarına/ölçülerine göre serim ve kesim işlemi burada yapılmaktadır. Dikim bölümüne gidecek ürünler dikimhaneye, dikim işlemi yapılmayacak ürünler ara stoğa gönderilmektedir. İlgili mamulün dikim işlemi bulunmamaktadır.

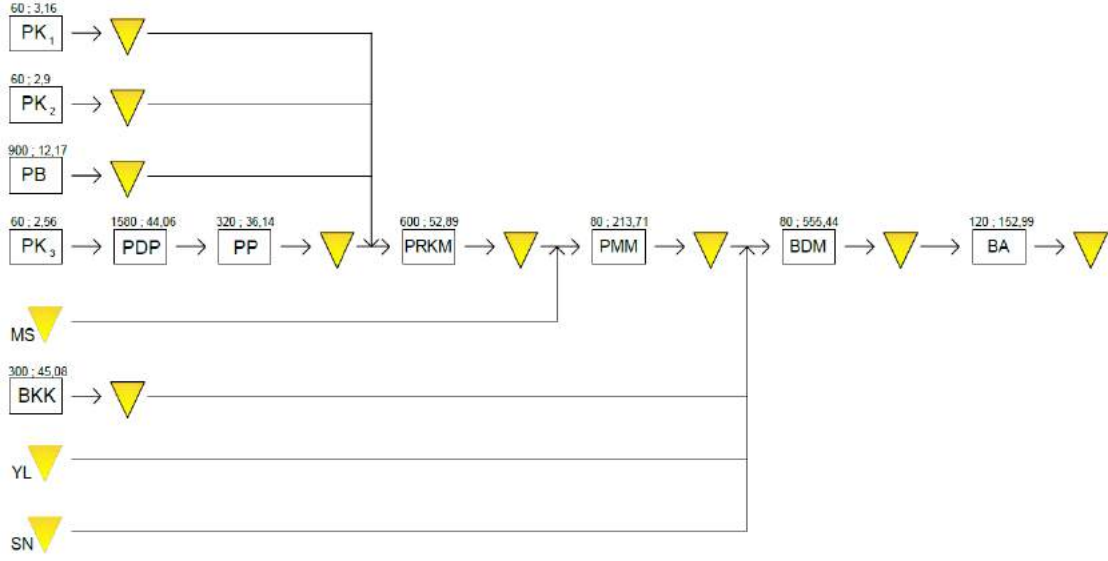
**Metal işleme Bölümü:** İş akışına göre hammadde depodan alınan profiller, faaliyet önceliğine göre üretim bölümlerine gönderilir. Belirlenen mamulün konstrüksiyonunun oluşturulabilmesi için, gerekli metal parçaların imalatı bu birimde gerçekleştirilir.

**Döşeme Atölyesi:** Döşeme hattı, tüm süreçlerin tamamlanıp nihai mamulün oluşturulduğu bölümdür. Döşeme yapılabilmesi için metal-masif konstrüksiyon montajı tamamlanan iskeletlerin ve diğer yarı mamullerin montaj hattına getirilmesi ile faaliyetler başlar mamul montajı burada tamamlanır.

İŞ AKIŞ ŞEMASI				İŞÇİ / MALZEME / DONATI TIPI-				
ŞEMA NO: 1		SAYFA NO: 1		ÖZET				
KONU: BAŞLIK ÜRETİM SÜREÇLERİ				ETKİNLİK	MEVCUT	ÖNERİLEN	ARTIRIM	
İŞ: MONTAJ				İŞLEM	○	16		
YÖNTEM: MEVCUT / ÖNERİLEN				TAŞIMA	⇒	19		
YER: METAL, MOBİLYA, KONFEKSİYON, DÖŞEME ATÖLYESİ				Geçici depolama	D	9		
İŞÇİ: A, B, C, D				KONTROL	□	0		
KART NO:				Depolama (stok)	▽	1		
ŞEMAYI ÇİZEN:				UZAKLIK (m)	-	-	-	
TARİH:				ZAMAN (adam-saat)	-	-	-	
ONAYLAYAN:				MALİYET	-	-	-	
TARİH:				İŞÇİLİK	-	-	-	
				MALZEME	-	-	-	
				TOPLAM	-	-	-	
DEPARTMAN	SIRA NO	TANIM	MIKTAR	Uzaklık (m)	Zaman (dk.)	SİMGE	AÇIKLAMA	
HAMMADDE KUMAŞ DEPO	1	KUMAŞIN DEPOYA ALINMASI				○	ASANSÖR İLE	
	2	KUMAŞ METRAJ KESME		0,8		⇒		
	3	KUMAŞ TOPUNUN DEPODAN GETİRİLMESİ				□	İSTİF ARABASI	
KONFEKSİYON	4	ELLE SERİM VE KESİM İŞLEMİ		0,68		○		
	5	PARÇALARIN İSTİFE TAŞINMASI				□	İSTİF ARABASI	
	6	ARA STOKTA BEKLEME						
METALHANE	7	PK1 PROFİLİN DEPODAN GETİRİLMESİ		5,34		○	VİNÇ İLE	
	8	PK1 PROFİL ÇOKLU KESİM İŞLEMİ		0,72		⇒		
	9	PARÇALARIN İSTİFE TAŞINMASI				□	İSTİF ARABASI	
	10	ARA STOKTA BEKLEME						
	11	PK2 PROFİLİN DEPODAN GETİRİLMESİ		5,15		○	VİNÇ İLE	
	12	PK2 PROFİL ÇOKLU KESİM İŞLEMİ		0,66		⇒		
	13	ARA STOKTA BEKLEME						
	14	PARÇALARIN PRESE TAŞINMASI				□	İSTİF ARABASI	
	15	PK2 PROFİL PRES İŞLEMİ		0,67		⇒		
	16	PK2 PERÇİN İŞLEMİ		0,55		○		
	17	PARÇALARIN İSTİFE TAŞINMASI				□	İSTİF ARABASI	
	18	ARA STOKTA BEKLEME						
	19	PK3 PROFİLİN DEPODAN GETİRİLMESİ		5,1		○	VİNÇ İLE	
	20	PK3 PROFİL ÇOKLU KESİM İŞLEMİ		0,58		⇒		
	21	PARÇALARIN İSTİFE TAŞINMASI				□	İSTİF ARABASI	
	22	ARA STOKTA BEKLEME						
	23	PK4 PROFİLİN DEPODAN GETİRİLMESİ		5,58		○	VİNÇ İLE	
	24	ARA STOKTA BEKLEME						
	25	PK4 PROFİLİN BÜKÜM MAKİNESİNE TAŞINMASI				□	İSTİF ARABASI	
	26	PK4 BÜKÜM İŞLEMİ		0,38		⇒		
	27	PARÇALARIN İSTİFE TAŞINMASI				□	İSTİF ARABASI	
	28	ARA STOKTA BEKLEME						
	29	PARÇALARIN ROBOTA TAŞINMASI				□	İSTİF ARABASI	
	30	ROBOT KAYNAK İŞLEMİ		1,17		○		
	31	METAL İSKETLERİN İSTİFE TAŞINMASI				□	İSTİF ARABASI	
	32	ARA STOKTA BEKLEME						
	KONSTRÜKSİYON MONTAJ	33	HAMMADDE DEPODAN PARÇALARIN TAŞINMASI				○	
		34	KONSTRÜKSİYON MONTAJ İŞLEMİ		5,36		⇒	
		35	İSKELETİN İSTİFE TAŞINMASI				□	İSTİF ARABASI
		36	ARA STOKTA BEKLEME					
	DÖŞEME HATTI	37	İSKELETİN TAŞINMASI				□	İSTİF ARABASI
		38	HAMMADDE DEPODAN PARÇALARIN TAŞINMASI				○	İSTİF ARABASI
39		KESİM HANEDEN KUMAŞLARIN GETİRİLMESİ				□	İSTİF ARABASI	
40		BEYAZLAMA		0,61		○		
41		KUMAŞ FONT DÖŞEME		5,29		⇒		
42		ARKA ASTAR DÖŞEME		2,12		⇒		
43		DELİKLERİN AÇILMASI		0,5		○		
44		İSTİFE TAŞIMA				□	FORKLİFT İLE	
45		SEVKİYAT DEPO						
Toplam				41,26	16	19	9 0 1	

Şekil 3. İlgili Ürünün Üretim Sürecine Ait Mevcut Durumu Gösterir İş Akış Analiz Formu

Çalışma kapsamında değerlendirilen ürüne ait iş akışı Şekil 4’de, zaman etüdü verileri Tablo 1’de verilmiştir. Burada ifade edilen ve özetlenen veriler, sistemin benzetim ile yeniden organizasyonu için kullanılan ham veriler olmuştur.



Şekil 4. İlgili Ürüne Ait Üretim İş Akışı

Tablo1. İlgili Ürün İçin Faaliyetler ve Zaman Verileri

Faaliyetler	Personel Sayısı	Faaliyet Tanımları	tr (sn)	te (sn)	s (sn)
PK1	1	Profil kesim	60	3,16	1,85
PK2	1	Profil kesim	60	2,90	2,64
PK3	1	Profil kesim	60	2,56	1,81
PB	1	Profil bükme	900	12,17	2,05
PDP	1	Profil delik pres	1580	44,06	2,59
PP	1	Profil perçin	320	36,14	3,38
PRKM	3	Robot kaynak montaj	600	52,89	1,96
PMM	6	Mobilya iskelet montaj	80	213,71	21,36
BKK	1	Kumaş kesim	300	45,08	2,57
BDM	6	Döşeme montaj	80	555,44	27,17
BA	1	Ambalaj	120	152,99	4,14

tr: Hazırlık zamanı, te: İşlem zamanı, s: Standart sapma

### 3.2. İş Akış Analizi İle Üretim Sürecinin İyileştirilmesi

İlgili üretim süreci için iş analizi ile elde edilen bu veriler metot etüdü ve sistemin benzetim ile yeniden organizasyonu amacıyla kullanılmıştır. Mevcut yapı üzerinde metot etüdü yapılarak sürecin yeniden düzenlenmiş hâli ise Şekil 5’de verilmiştir. Sürecin yeniden düzenlenmesinde kullanılan yaklaşımlar: 1-İşin tamamlanmasında katma değer üretmeyen faaliyetlerin ortadan kaldırılması, ve/veya İşin bünyesinde bulunan faaliyetlerin veya iş elemanlarının; 2- birleştirilmesi, 3- yapılış sırasının değiştirilmesi, 4- basitleştirilmesi, olarak kısaca ifade edilebilir (Kurt ve Dağdeviren, 2003). Bu uygulamalar sonucunda, mevcut durumda takip edilmesi gereken 16 işlem, önerilen sistemde 11 işleme düşürülmüştür (Şekil 5).

İŞ AKIŞ ŞEMASI				İŞÇİ / MALZEME / DONATI TIPI								
ŞEMA NO: 1		SAYFA NO: 1		ÖZET								
KONU: BAŞLIK ÜRETİM SÜREÇLERİ				ETKİNLİK	MEVCUT	ÖNERİLEN	ARTIRIM					
İŞ: MONTAJ				İŞLEM	○	16	11	5				
YÖNTEM: MEVCUT / ÖNERİLEN				TAŞIMA	⇒	19	16	3				
YER: METAL, MOBİLYA, KONFEKSİYON, DÖŞEME ATÖLYESİ				Geçici depolama	D	9	5	4				
İŞÇİ: A, B, C, D				KONTROL	□	0	0	0				
KART NO:				Depolama (stok)	▽	1	1	0				
ŞEMAYI ÇİZEN:				ZAMAN (adam-saat)		-	-	-				
TARİH:				MALİYET		-	-	-				
ONAYLAYAN:				İŞÇİLİK		-	-	-				
TARİH:				MALZEME		-	-	-				
				TOPLAM		-	-	-				
DEPARTMAN	SIRA NO	TANIM	MİKTAR	UZAKLIK		SİMGE					AÇIKLAMA	
				(m)	dk.	○	⇒	D	□	▽		
HAMMADDE KUMAŞ DEPO	1	KUMAŞIN DEPOYA ALINMASI										ASANSÖR İLE
	2	KUMAŞ METRAJ KESME		0,8								
	3	KUMAŞ TOPUNUN DEPODAN GETİRİLMESİ										İSTİF ARABASI
KONFEKSİYON	4	ELLE SERİM VE KESİM İŞLEMİ		0,68								
	5	PARÇALARIN İSTİFE TAŞINMASI										İSTİF ARABASI
	6	ARA STOKTA BEKLEME										
METALHANE	7	PK2 PROFİLİN DEPODAN PRESE GETİRİLMESİ		5,15								İSTİF ARABASI
	8	PK2 PROFİL PRES İŞLEMİ		0,67								
	9	PK2 PERÇİN İŞLEMİ		0,55								
	10	PARÇALARIN İSTİFE TAŞINMASI										İSTİF ARABASI
	11	ARA STOKTA BEKLEME										
	12	PK4 PROFİLİN DEPODAN GETİRİLMESİ		5,58								VİNÇ İLE
	13	PK4 PROFİLİN BÜKÜM MAKİNESİNE TAŞINMASI										İSTİF ARABASI
	14	PK4 BÜKÜM İŞLEMİ		0,38								
	15	PARÇALARIN İSTİFE TAŞINMASI										İSTİF ARABASI
	16	ARA STOKTA BEKLEME										
	17	P1,P2,P3,P4 PARÇALARIN ROBOTA TAŞINMASI										İSTİF ARABASI
	18	ROBOT KAYNAK İŞLEMİ		1,17								
	19	METAL İSKETLERİN İSTİFE TAŞINMASI										İSTİF ARABASI
	20	ARA STOKTA BEKLEME										
KONSTRÜKSİYON MONTAJ	21	HAMMADDE DEPODAN PARÇALARIN TAŞINMASI										
	22	KONSTRÜKSİYON MONTAJ İŞLEMİ		5,36								
	23	İSKELETİN İSTİFE TAŞINMASI										İSTİF ARABASI
	24	ARA STOKTA BEKLEME										
DÖŞEME HATTI	25	İSKELETİN TAŞINMASI										İSTİF ARABASI
	26	HAMMADDE DEPODAN PARÇALARIN TAŞINMASI										İSTİF ARABASI
	27	KESİMHANEDEN KUMAŞLARIN GETİRİLMESİ										İSTİF ARABASI
	28	BEYAZLAMA		0,61								
	29	KUMAŞ FONT DÖŞEME		5,29								
	30	ARKA ASTAR DÖŞEME		2,12								
	31	DELİKLERİN AÇILMASI		0,5								
	32	İSTİFE TAŞIMA										FORKLİFT İLE
	33	SEVKİYAT DEPO										
Toplam					28,86	11	16	5	0	1		

Şekil 5. Üretim Sürecine Ait Metod Etüdü Sonrası Önerilen Durum İş Akış Analiz Formu

İş analizi ile gerçekleştirilen faaliyetler sonucu ilgili üretim sürecine ait önemli düzeyde zaman kazancı elde edilmiş, üretim temin süresi %30 azaltılarak 41,26 dk'dan 28,86 dk'ya, işlemlerin sayısı 16'dan 11'e, taşımaların sayısı 19'dan 16'ya, geçici depolama (süreç içi stok) 9'dan 5'e düşürülmüştür. Böylece sistem etkinliği ve verimliliği yükselmiştir.

İşletmede çalışmaya esas ilgili ürün ile birlikte onlarca benzer ürün, yüzlerce bileşen üretilmektedir. Gerçekleştirilen bu iyileştirmeler aynı şekilde diğer bileşenlere de kolaylıkla uyarlanabilmektedir. Bununla birlikte; ilgilenilen ürünün üretim sürecini

etkilemese de kanepeler ve berjer ürünlerinin üretim süreçlerini doğrudan ilgilendiren bazı iyileştirme uygulamaları, konfeksiyon iş istasyonu ve mobilya iskelet montaj brimleri için aşağıda kısaca açıklanmıştır.

### 3.3. Konfeksiyon Bölümünde Gerçekleştirilen Örnek İyileştirme Uygulamaları

Dikişli ürünler için otomatik kumaş serim ve kesim işlemi ile başlayan konfeksiyon üretim sürecini takip eden diğer faaliyet ise, dikilmesi gereken parçaların çizim işlemidir. Konfeksiyon montaj hattında hem hatasız dikim hem de verimli üretim için yapılan çalışmaların öncesinde kritik parçaların çizim işlemi gelmektedir. Kesimi biten kumaşların önceden hazırlanmış kalıplar aracılığıyla çizgi taşı ile referans yerleri çizilmektedir. Bu iş istasyonunda, gerçekleştirilen metot etüdü ve iş analizleri sonucu, katma değersiz faaliyetlerin ortadan kaldırılması ve iş birleştirme gibi yeniden organizasyon faaliyetleri ile proses verimliliği açısından önemli bir kazanım elde edilmiştir. Şöyle ki; ilgili iş istasyonunda bilgisayar kontrollü sayısal tezgâhta (Çoklu kumaş kesim- CNC) mevcut kesim yapılırken, çizilecek parçalara aynı anda küçük delikler açılması sağlanmış, böylece manuel çizim faaliyeti ortadan kaldırılmıştır (Şekil 6). Makine üzerinde yapılacak düzenleme için makine firmasıyla görüşmeler gerçekleştirilmiş ve makinenin istenilen faaliyeti gerçekleştirecek şekilde uyarlaması yapılmıştır. Sonuçta kumaş kesimi yapılırken aynı zamanda delik delme işlemi de gerçekleştirilebilir olmuş, kesim sonrası çizgi taşıyla manuel çizim yapılmaz faaliyeti ortadan kaldırılmıştır. Böylece konfeksiyon bölümünün ilgili iş istasyonunda, modellerin faaliyet süresi açısından %100'den %5'e kadar değişmekle birlikte ortalama %38'lik bir kazanç elde edilmiştir (Tablo 2).



Şekil 6. Kumaş Kesim Bölümünde Metot Etüdü Uygulaması. Öncesi Durum (a), Sonrası Durum (b)

Tablo 2. Konfeksiyon Bölümünde Uygulanan Metot Etüdü Sonrası Kazanç Tablosu

Model	Modül	Uygulama	Önce (sn)	Sonra (sn)	Kazanç (sn)	Kazanç (%)
Model 1	Berjer	Kol kavisine çit atımı	323	235	88	27,24
Model 2	Kanepeler	Oturum birleşimine çizim işlemi	29	0	29	100,00
Model 3	Kanepeler	Kırlent (çizim işlemi)	24	0	24	100,00
Model 4	Berjer	Ped bölümüne çit atımı	1110	1058	52	4,68
Model 5	Kanepeler	Oturum minderine çit atımı	362	316	92	25,41
Model 6	Kanepeler	Sırt minderine çit atımı	240	209	31	12,92
Model 7	Kanepeler	Kol bölümüne çit atımı	295	260	70	23,73
Model 8	Kanepeler	Kol bölümüne çit atımı	296	270	52	17,57

### 3.4. Mobilya İskelet Montaj İş İstasyonunda Gerçekleştirilen Örnek İyileştirme Uygulamaları

İşletmeye gelen bazı yarımamül parçalar ön işlemlerden geçirilerek üretime alınmaktadır. Bu malzemelerin tedarikçileri ile yapılacak görüşmeler sayesinde çoğu zaman ek bir maliyete dahi katlanmadan bazı işlemlerin tedarikçide yapılması sağlanabilir. Örneğin çalışma yapılan işletmede, bazı parçalar için tedarikçi firma yetkilileri ile görüşmeler yapılmış, teknik çizimler paylaşarak siparişlerin montaj delikleri açılmış hâliyle temin edilmesi sağlanmıştır (Şekil 7).

Sonuçta kayın kaplı lif levhanın tedarikçide CNC makine ile kesimi yapılırken aynı zamanda delik delme işlemi de gerçekleştirilebilmiş, bu durum tedarikçi firma için katlanılabilir bir maliyet ve süre oluşturduğu için tedarikçi tarafından da kabul edilmiştir. Böylece süreç içi kalite kayıpları ve değer katmayan taşıma faaliyetleri ortadan kaldırılmıştır.



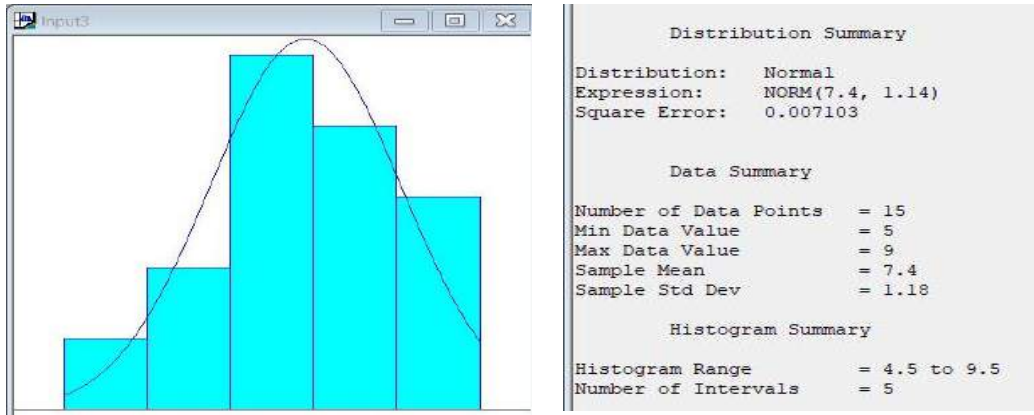
(a)

(b)

Şekil 7. Mobilya İskelet Bölümünde Uygulanan İyileştirme Faaliyetleri. Öncesi Durum (a), Sonrası Durum (b)

### 3.5. Üretim Sürecinin Benzetim ile Yeniden Düzenlenmesi

Öncelikle mevcut durum modellenmiş, ardından önerilen değişikliklerle söz konusu üretimin nasıl daha verimli hâle getirilebileceği araştırılmıştır. Sistemin benzetim modeli için öncelikle Arena 14.0 programı içeriğinde olan Input Analyzer'dan faydalanılarak her bir faaliyete ait iş-zaman değerlerinin dağılımları belirlenmiştir. Bu amaçla; iş akış planındaki faaliyetler text dosyası uzantısı ile kayıt edilerek, her bir işleme ait zaman etüdü verileri yardımıyla histogramlar oluşturulmuştur. "Fit all" sekmesi ile bu değerlerin hangi dağılıma uyduğu analiz edilmiştir. Input Analyzer aracılığıyla otomatik gerçekleştirilen ki-kare testi sonuçları ile ana proses dağılım oranlarını karşılayıp karşılamadığı test edilmiştir. Test sonucunda  $p > 0,05$  olması sebebiyle elde edilen sonuçların ana proses dağılım oranları arasında farklılıkların olmadığı kanatine varılmıştır. Şekil 8'de PM-5 faaliyetinin işlem süresine ait dağılım histogramı ve dağılıma ait tanımlayıcı istatistikler verilmiştir.

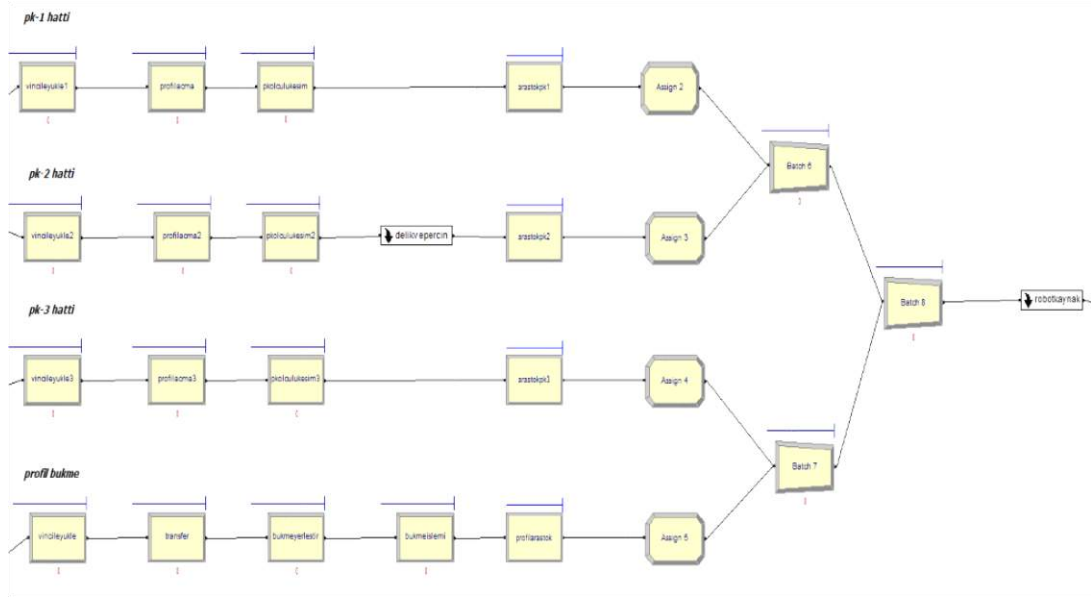


Şekil 8. PM-5 İşlemine Ait İşlem Zamanı Dağılımı ve Tanımlayıcı İstatistikler

Tüm faaliyetlerin süre dağılımları belirlendikten sonra mevcut işleyişi gösteren benzetim modeli Arena 14.0 paket programı öğrenci versiyonu kullanılarak oluşturulmuştur. Veriler girildikten sonra mevcut durumun benzetim koşumu gerçekleştirilmiş, performans değerlerinin hesaplanması sağlanmıştır. Simulasyon modelinin kontrolü için Arena 14.0 paket programında model akışının kontrolü, varlıkların doğru kısım ve zamanda oluşturulması, mantıksal hataların aranması ve kaynakların varlık kullanımından sonra serbest bırakılması modelin kontrolü aşamasında yapılan işlemlerdir. Modelin doğrulanmasının ise kolay yöntemi model sistemin uzmanı nezaretinde kontrol edilir, gerçek sistemin çıktıları simulasyon sonuçları ile karşılaştırılır (Rosetti, 2010).

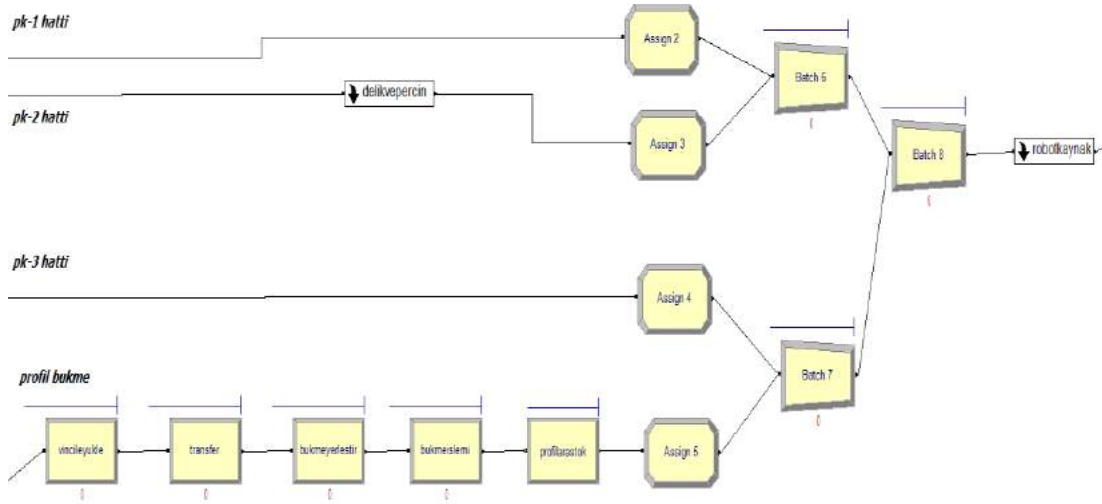
Mevcut durumun benzetim modeline ait animasyon grafiği Şekil 9'da gösterilmiştir.





Şekil 9. Metal İşleme Bölümü Mevcut Durum Benzetim Modeli

Mevcut benzetim modelin 17 adet iş istasyonu ve 2 adet “perçin ve delik” ve “robot kaynak” alt montaj işlemi yer almaktadır. Önerilen sistemin benzetim modelinde değer katmayan faaliyetler kaldırılarak iş istasyonu sayısı beş’e indirgenmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. Metal İşleme Bölümü Önerilen-Alternatif Durum Benzetim Modeli

Benzetim modeli ile izlenen ilgili iş akış süreci için tüm iş istasyonlarına ait kapasite kullanım oranlarındaki değişim Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Modellenen Üretim Sürecine Ait İş İstasyonlarındaki Kapasite Kullanım Oranı Değişimi

Kaynaklar	Mevcut Model (%)	Önerilen Model (%)	Değişim ( $\Delta$ ) (%)
Ambalaj	52,41	53,08	0,67
Profil Büküm	1,34	1,34	0,00
Profil Çoklu Kesim	13,51	İşlem kaldırıldı	13,51
Kumaş Kesim	15,78	15,77	0,01
Çoklu Kesim Operatör	3,44	İşlem kaldırıldı	3,44
Perçin	36,57	36,71	0,14
Press	7,83	7,83	0,00
Profil Büküm Operatör	1,77	1,78	0,01
İskelet Personel_1	51,23	52,02	0,79
İskelet Personel_2	51,23	52,02	0,79
İskelet Personel_3	51,23	52,02	0,79
İskelet Personel_4	51,23	52,02	0,79
İskelet Personel_5	51,23	52,02	0,79
İskelet Personel_6	51,23	52,02	0,79
Robot Kaynak_1	4,06	3,13	0,93
Robot Kaynak_2	0,13	1,18	1,05
Robot Operatör_1	7,79	5,24	2,55
Robot Operatör_2	1,88	2,62	0,74
Robot Operatör_3	0,54	2,63	2,09
Vinç	0,16	0,04	0,12

Bu sonuçlara göre; mevcut durumda 6485 adet baza başlığı üretilirken, önerilen durumla 6569 adet çıktıya ulaşılmıştır. Böylece yaklaşık %1,3'lük verimlilik (üretkenlik) artışı sağlanmıştır. Ancak perçin ve pres faaliyetlerinde üretilen miktar değişmediği için değişiklik gözlemlenmemiştir. Aynı zamanda başlık üretim çevrim zamanı 389 dk'dan, 355 dk'ya düşerek yaklaşık 34 dk kazanç sağlanmış olup üretim verimliliğinde %10'luk artışa tekabül etmektedir. Kapasite kullanımında önemli kazançlar elde edilmiştir. Şöyle ki; mevcut durumda çoklu kesim faaliyeti yapılırken, önerilen durumda bu faaliyet kaldırılarak %13,5 ve operatör kullanımında da %3,4'lük kazanç elde edilmiştir. Buna istinaden hammadde depodan çoklu kesim tezgâhına taşıma faaliyeti mevcut durumda %0,16 kullanılırken, önerilen durumda %0,04'e azaltılarak %0,12'lik kazançla ulaşılmıştır. Bunlarla birlikte, kullanılmayan kapasite-kaynaklar diğer ürünlerin üretimine aktarılarak toplam işletme verimliliğinde de önemli kazançların elde edileceği aşikârdır.

#### 4. Sonuç ve Tartışma

Uygulama araştırması olarak gerçekleştirilen bu çalışma ile; ahşap iskeletli döşemeli mobilya imalatı yapan orta ölçekli bir üretim tesisindeki tüm üretim süreci iş etüdü uygulamaları ile analiz edilmiş, seçilen bir ürüne ait üretim süreci Arena 14.0 benzetim yazılımı ile modellenmiştir. İş etüdü uygulamaları ile, ilgili üretim sürecine ait önemli düzeyde zaman kazancı elde edilmiş, üretim temin süresi %30 azaltılarak 41,26 dk'dan 28,86 dk'ya, işlemlerin sayısı 16'dan 11'e, taşımaların sayısı 19'dan 16'ya, geçici depolama 9'dan 5'e düşürülmüştür. Geliştirme modelleri olarak metal atölyesine ait iş ve işlemlerde yeniden organizasyon çalışmaları yapılmış, süreç içi stok seviyeleri düşerken zamanında teslim edilebilir sipariş sayılarında artış olmuştur. Aynı zamanda çevrim zamanı düşürülerek üretim verimliliğinde yaklaşık %10'luk artış sağlanmıştır. Benzetim ile mobilya işletmelerinde verimliliğin artırılması konusunda doğrudan veya dolaylı yapılmış benzer çalışmalarda da önemli kazanımların çok daha kısa sürelerde ve düşük maliyetlerle elde edilebildiği, literatürde kapsamlı bir şekilde ortaya konulmaktadır (Akin, 2015; Arslan vd., 2015; Daşçı, 2010; Karaca, 2007; Sütçü vd., 2011; Sütçü vd., 2006; Yiğit, 2012). Bu çalışmada kullanılan benzetim modeli, sadece bu çalışmanın amacı doğrultusunda kullanılmayıp, aynı zamanda fabrikada devam eden faaliyetleri aksatmadan sanal bir sistem üzerinde değişiklikler uygulayarak deneme yapma imkanı sunmaktadır. Böylece farklı senaryoları deneyerek performans karşılaştırması yapılabilir ve üretim planları daha etkin bir şekilde uygulanabilir.

Benzetim yöntemi sayesinde, yeniden organizasyon faaliyetlerinin atölye ortamında birebir uygulaması yapılmadan bilgisayar üzerinde performans değerlerinin izlenebilmesi ve beklenen iyileştirmeyi sağlayıp sağlamadığının testine yönelik literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Nyemba ve Mbohwa, 2017; Ali ve Zulkifli, 2017; Silva vd., 2017; Rahman vd., 2019). Ancak üretim ortamlarının kendine has özellikler taşıması her bir firma için yapılan yeniden organizasyon faaliyetlerinin orijinallliğini oluşturmaktadır. Bu çalışma ile verimliliğin artırılması ve rekabetin öncelik edinebilmesi adına gerçekleştirilen bu uygulamalar, örnek teşkil etmesi açısından büyük bir öneme sahiptir. Çalışmada örneklendirilen verimliliği arttırmaya yönelik faaliyetler, ülkemiz mobilya endüstrisinde doğrudan ve benzer diğer sektörlerde adaptasyon yöntemiyle uygulanarak önemli kazanımlar elde edilebilecektir. Kurumsallaşma faaliyetlerine devam eden işletmede gerçekleştirilen bu iyileştirmeler, bütünü görebilen eğitimli kalifiye personeller vasıtasıyla olabilmektedir.

Çalışmadaki kısıtlar ve karşılaşılan zorluklar nedeniyle tüm ürünlere ait süreçlerin benzetim modelleri oluşturulamamış, ancak diğer üretim süreçleri için de iyileştirme uygulamaları yapılmış ve çalışma içerisinde bunlara da yer verilmiştir. Benzetim ile ilgili olarak en büyük kısıtımız akademik versiyonu kullanılan benzetim yazılımıdır. Bununla birlikte mobilya sektöründeki ürün çeşitliliğinin fazla olması, zaman kısıtlılığı ve maliyetler de çalışma esnasında karşılaşılan önemli zorluklar olmuştur. Bu zorluklara-kısıtlara rağmen çalışma kapsamında ilgili iş istasyonları ve üretim süreçleri olabildiğince kapsamlı bir şekilde incelenmiş, verimlilik artırımına yönelik geliştirilen önerilerin büyük kısmı uygulamaya geçirilerek kazanımlar atölye ortamında doğrudan tecrübe edilmiştir.

## Kaynakça

- Akın, N.G. (2015). Kanepe Montaj Hattının Dengelenmesi ve Benzetim Yöntemi İle Sınanması. Çankırı Karatekin Üniversitesi İİBF Dergisi, 5(1): 95-120.
- Ali, A.T.B., Zulkifli, M.F., (2017). A study on the cycle time of an assembly workstation using application of arena simulation software in a furniture industry, Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, 2017 (JUL, 2017):67-76.
- Altıok, T., Melamed, B., (2007). Simulation Modeling and Analysis with Arena. Elsevier Academic Press, Amsterdam.
- Arslan, H.M., Yıldız, M.S., Uysal, H.T., (2015). Kesim Hattında Süreç İyileştirme ve Etkin Tasarruf: Ağaç İşleri Atölyesine Yönelik Bir Uygulama. Zeitschrift Für Die Welt Der Türken, Journal Of World Of Turks, 7:121-136.
- Dal, V., (2010). Refa, Mtm ve Gsd İş Akış Süresi Belirleme Sistemlerinin Örnek Bir Uygulama İle Karşılaştırılmalı Olarak İncelenmesi. Türk Bilim Araştırma Vakfı, Tubav Bilim Dergisi, 3(3):224-237
- Daşcı, A., (2010). Benzetim Destekli Yalın Üretim Sisteminin Mobilya Sektöründe Uygulanması. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 100s., Kayseri.
- Dizdar E. N., Özen, R., (2001). Ahşap Mobilya Endüstrisinde Üretim Verimliliği İçin İş Etüdü Uygulamaları. Teknoloji, (1-2):1-9
- Karaca, S., (2007). Benzetim Modellemesi İle Mobilya Üretiminde Sistem Analizi ve Optimizasyonu. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 126 s., Bartın.
- Karşıyaka, O., (2018). Bir Mobilya Fabrikasının Verimliliğini Artırmaya Yönelik Uygulamalar: Üretim Sisteminin Yeniden Organizasyonu. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 78s., Isparta
- Karşıyaka, O., Sütçü, A. (2019). Mobilya Üretim Süreçlerinde Verimliliği Artırmaya Yönelik 5S Uygulamaları. Bilge International Journal of Science and Technology Research, 3 (2): 87-101
- Kaya, A.İ., (2001). Mobilya Endüstrisinde Kapasite Planlama. Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 148s, Balıkesir.
- Kurt, M., Dağdeviren M., (2003). İş Etüdü. Gazi Kitabevi, Ankara.
- Kuvvetli, Y., Erol, R., (2017). Ağaç Ürünleri Üreten Bir İşletmede Malzeme Taşıma Sisteminin Benzetim Yaklaşımıyla İyileştirilmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32(1):215-222.
- MESS-REFA, (2005). İş Sistemi ve Süreç Düzenleme, Mess Yayın No: 451, Acar Matbacılık, İstanbul.
- Nyemba, W.R., Mbohwa, C., (2017). Modelling, simulation and optimization of the materials flow of a multi-product assembling plant, Procedia Manufacturing, 8(2017):59–66.
- Orsiad, (2019). Türk mobilya sektörü Fas üzerinden Batı ve Kuzey Afrika'ya açılacak. ORSIAD Orman Sanayi İş Adamları Gazetesi, 25 Haziran 2019 ([www.orsiad.com.tr](http://www.orsiad.com.tr) Erişim: 15.07.2019)
- Rahman, A., Sarker, S., Islam, M.T., (2019). Simulating Cutting Line of a Furniture Industry. International Conference on Production and Operations Management Society, POMS 2018, 29 January 2019, Amaya Hills Hotel KandyKandy; Sri Lanka
- Rosetti, M.D., (2010). Simulation Modeling and Arena, John Wiley & Sons, New Jersey
- Silva, A.N., Araújo, A.V., Godoy, L.C., Minette, L.J., Suzuki, J.A., (2017). Contribution of computational simulation for layout analysis in a wooden furniture industry. Revista Árvore, 2017;41(2):e410201 [http://dx .doi.org/10.1590/1806-90882017000200001](http://dx.doi.org/10.1590/1806-90882017000200001)
- Sutcu, A., Tanrıtanır, E., Durmusoglu, B., Koruca, H.I., (2011). An Integrated Methodology for Layout Design and Work Organisation In a Furniture Manufacturing Plant. South African Journal of Industrial Engineering, 22(1):183-197
- Sütçü, A., Tanrıtanır, E., Eroğlu, A., Koruca, H.İ. (2006). Orman Ürünleri Endüstrisinde Benzetim Destekli Çalışmalar ve Bir Örnek Uygulama. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 2006 (2):141-155.
- Yiğit, M.A., (2012). Bir Ofis Mobilyası Üretim Sisteminin Benzetim İle Analizi ve Optimizasyonu. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Doktora Tezi, 202s, Tokat.



# Türkiye Kayın Ormanları İçin Yeni Bir Tehdit Kızıl Kuyruklu Kayın Tırtılı [*Calliteara pudibunda* (Linnaeus, 1758)]'nın Günümüz ve Gelecekteki Potansiyel Yayılış Alanlarının Tahmini

Oğuzhan Sarıkaya<sup>1\*</sup>, Ömer K. Örucü<sup>2</sup>, İsmail Şen<sup>3</sup>, Özden Açıcı<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5124-6279)

<sup>2</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2162-7553)

<sup>3</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9905-3537)

<sup>4</sup> Bursa Orman Bölge Müdürlüğü, Bursa, Türkiye

(İlk Geliş Tarihi 17 Eylül 2019 ve Kabul Tarihi 22 Ekim 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.621325)

**ATIF/REFERENCE:** Sarıkaya, O., Örucü, Ö. K., Şen, İ. & Açıcı, Ö. (2019). Türkiye Kayın Ormanları İçin Yeni Bir Tehdit Kızıl Kuyruklu Kayın Tırtılı [*Calliteara pudibunda* (Linnaeus, 1758)]'nın Günümüz ve Gelecekteki Potansiyel Yayılış Alanlarının Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 58-65.

## Öz

Ülkemiz kayın ormanlarında ekonomik zarara yada epidemiye yol açan zararlı türlerle sıklıkla rastlanılmamakla birlikte *Calliteara pudibunda* (Linnaeus, 1758)'nin 2018 ve 2019 yıllarında İnegöl (Bursa) kayın ormanlarında epidemi yaparak önemli zarara yol açtığı gözlemlenmiştir. Larvaları kayın yapraklarını yemesi sonucunda ağaçlar tamamen yapraksız kalabilmekte ve artım kaybı meydana gelmektedir. Bu tür esas olarak kayın zararlısı olarak bilinmekle birlikte, yapraklı orman ağacı türlerinde polifag olarak beslenmektedir. Çalışmada, *Calliteara pudibunda*'nın Avrupa ve Türkiye'deki mevcut yayılış alanları ve iklim değişimine bağlı olarak geliştirilen senaryolara göre gelecek projeksiyonu MaxEnt 3.4.1 programı kullanılarak modellenmiştir. Modellemede CCSM4 (The Community Climate System Model) 2050 ve 2070 yılı RCP (Representative Concentration Pathway) 4.5 ve RCP 8.5 iklim senaryosu kullanılarak oluşturulmuş 19 biyoklimatik değişken kullanılmıştır. Zararlının günümüzdeki potansiyel yayılış alanının Karadeniz bölgesi başta olmak üzere kayının yayılış yaptığı sahalarda büyük oranda örtüştüğü dikkati çekmektedir. Ayrıca, RCP 4.5 ve RCP 8.5'a göre 2050-2070 projeksiyonlarında türün yayılış alanları modeli incelendiğinde türün gelecek projeksiyonunda da ülkemiz ormanları için bir tehdit olarak ortaya çıktığı görülmektedir. Bugün itibarıyla, İnegöl-Tahtaköprü mevkide sınırlı bir alanda kayın ormanlarında zararlı olan *Calliteara pudibunda*'nın günümüz ve gelecekteki potansiyel alanlarının giderek daha da artış gösterebileceği tahmin edilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** *Calliteara pudibunda* (Linnaeus, 1758), Kayın, MaxEnt, İnegöl, Yayılış.

## Prediction to Present and Future Distribution Areas of Pale Tussock Moth [*Calliteara pudibunda* (Linnaeus, 1758)] as New Threat for Beech Forests in Turkey

### Abstract

Although it is not frequently encountered with pest species that cause economic damage or epidemic in beech forests of our country, it was observed that *Calliteara pudibunda* (Linnaeus, 1758) caused major epidemic in İnegöl (Bursa) beech forests in 2018 and 2019. As result of feeding by larvae, trees may become completely leafless and loss of increment occurs. This species is mainly known as beech pest, but is fed as a polyphag on deciduous forest tree species. In this study, future projection of *Calliteara pudibunda* was modeled by using MaxEnt 3.4.1 program based on scenarios developed depending on current distribution areas and climate change in Turkey. In the modeling, 19 bioclimatic variables were created using CCSM4 (The Community Climate System Model) 2050 and

\* Sorumlu Yazar: Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye, ORCID: 0000-0001-5124-6279, [oguzhan.sarikaya@btu.edu.tr](mailto:oguzhan.sarikaya@btu.edu.tr)





*Calliteara pudibunda*'nın Avrupa'da 37. ve 60. enlem dereceleri arasında yayılış yaptığı ancak 48.- 57. enlemlerde epidemilere yol açtığı bildirilmektedir (Wellenstein, 1978; Klimitzek, 1972; Mazzoglio, 2005; Heqvist, 1949; Nilsson, 1978). En geniş yayılışını ülkemizde gerçekleştiren Doğu kayınında İnegöl-Tahtaköprü mevkiinde 2018 ve 2019 yıllarında görülen ve özellikle de bu sahada bir önceki yıla göre zarar alanını artıran *C. pudibunda*'nın başka sahalara yayılış yapması ihtimali büyük önem taşımaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. İnegöl-Tahtaköprü Kayın sahalarında *Calliteara pudibunda* zararı

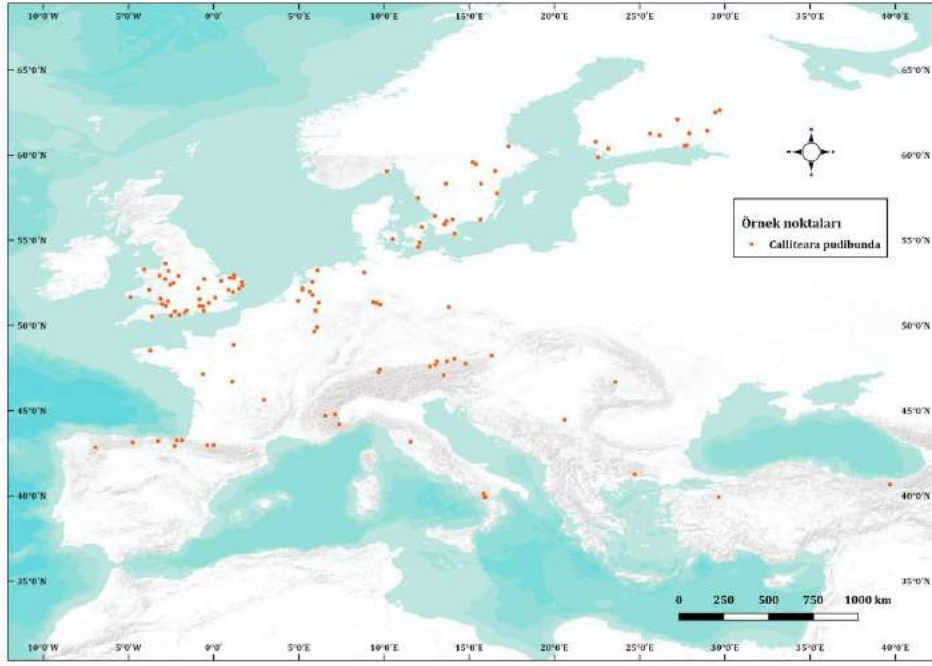
Günümüzde türlerin mevcut potansiyel yayılışları ve farklı iklim senaryolarına göre gelecekteki potansiyel yayılışları makine öğrenme yöntemleri ile ortaya konulabilmektedir. Bu hususta, türlerin var olduğu noktasal alan kayıtları ile bu alanlara ait sayısal biyoiklim verileri kullanılarak oluşturulmuş katmanlar kullanılmaktadır (Wang vd., 2007; Ward, 2007; Phillips vd., 2004; Wollan vd., 2008; Williams vd., 2009).

Bu çalışmada, *C.pudibunda*'nın yayılışını etkileyen önemli çevresel faktörleri belirlemek ve zararının farklı iklim senaryolarına bağlı olarak gelecekteki potansiyel dağılımını tahmin etmek ve türün kayın sahaları başta olmak üzere, yapraklı ormanlarımızdaki potansiyel tehditi ortaya koymak amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

*Calliteara pudibunda*'nın iklim değişikliğine bağlı olarak günümüzdeki ve gelecekteki potansiyel yayılışının belirlenmesi amacıyla tür dağılım modeli kullanılmış, MaxEnt (Maximum Entropy Modeling) 3.4.1 versiyonu (Phillips vd., 2004; Elith vd., 2011) ile küresel iklim değişikliğine bağlı olarak *C. pudibunda*'nın dağılım alanları için 2050 (2041-2060 ortalaması) ve 2070 (2061-2080 ortalaması) yılları periyodu maksimum entropi modelleri üretilmiştir.

Çalışmada kullanılan var verileri için türün yayılış gösterdiği alanlarda, mevcut literatür kullanılarak (Peter, 1986; Arzone vd., 1994; Göktürk ve Aksu, 2005; GBIF, 2019) 118 noktanın koordinatları belirlenmiş ve QGis 3.8.1 (QGis, 2019) programında Google Satellite Hybrid altlık haritaları kullanılarak WGS 84 koordinat sisteminde belirlenen örnek noktalar işaretlenmiştir. Şekil 3'te kullanılan yayılış noktaları görülmektedir.



Şekil 3. Modellemede kullanılan yayılış noktaları

Çalışmada mevcut durum ve öngörülen gelecek için biyoklimatik değişkenler WorldClim veri tabanından elde edilmiştir (Hijmans vd., 2005; WorldClim, 2019). Tablo 1’de IPCC 2014 raporu temel alınarak hazırlanmış CCSM4 (The Community Climate System Model) 2050 ve 2070 yılı RCP (Representative Concentration Pathway) 4.5 ve RCP 8.5 iklim senaryosu kullanılarak oluşturulmuş 19 biyoklimatik değişken gösterilmektedir.

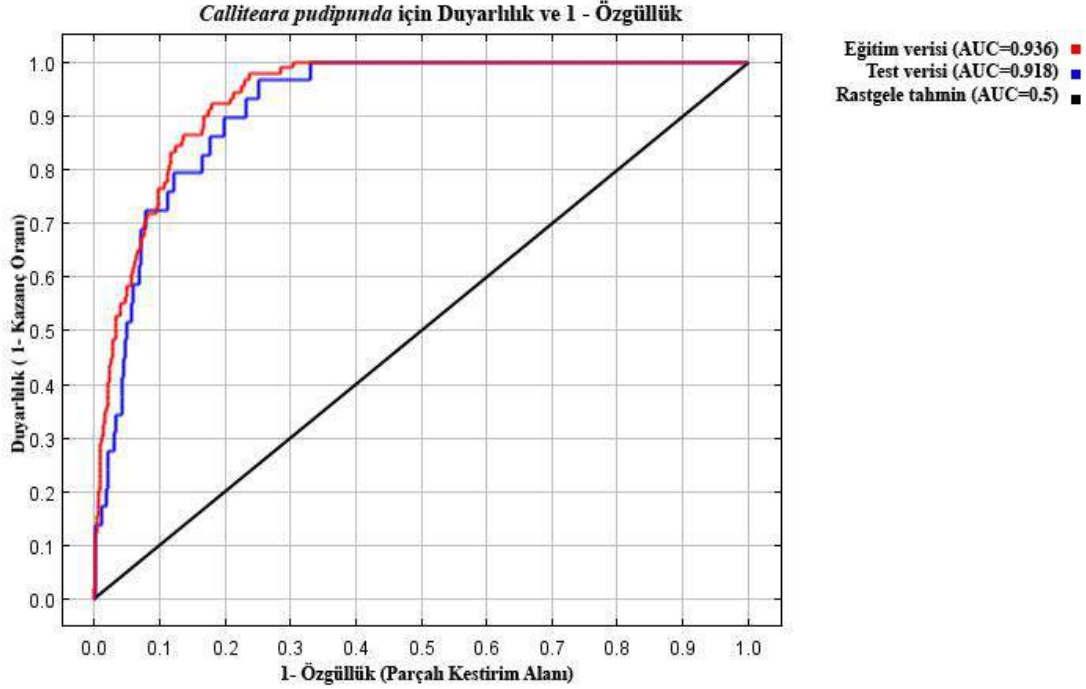
**Tablo 1.** Biyoklimatik Değişkenler

Kodlar	Tanımlar
bio_01	Yıllık ortalama sıcaklık
bio_02	Sıcaklık değişim aralığı (aylık ortalama (max sıcaklık–min sıcaklık))
bio_03	İzotermalite (Bio2/Bio7) (*100)
bio_04	Mevsimsel sıcaklık (standard sapma *100)
bio_05	En sıcak ayın maksimum sıcaklığı
bio_06	En soğuk ayın minimum sıcaklığı
bio_07	Yıllık sıcaklık oranı (Bio5-Bio6)
bio_08	En nemli çeyreğin ortalama sıcaklığı
bio_09	En kurak çeyreğin ortalama sıcaklığı
bio_10	En sıcak çeyreğin ortalama sıcaklığı
bio_11	En soğuk çeyreğin ortalama sıcaklığı
bio_12	Yıllık yağış
bio_13	En nemli aydaki yağış miktarı
bio_14	En kurak aydaki yağış miktarı
bio_15	Mevsimsel yağış miktarı (Değişim katsayısı)
bio_16	En nemli çeyreğin yağış miktarı
bio_17	En kurak çeyreğin yağış miktarı
bio_18	En sıcak çeyreğin yağış miktarı
bio_19	En soğuk çeyreğin yağış miktarı

Çalışmada MaxEnt modelleme programında çevresel değişkenlerin etkilerini ölçmeye sağlayan Jackknife seçeneği kullanılmıştır. Bu seçenek her bir bağımsız değişkenin modelin oluşturulmasındaki önem derecelerini belirlemeye olanak tanımaktadır. Potansiyel dağılım haritaları oluşturulurken 0 ve 1 değerleri kullanılmış olup, buna göre 1 türün bulunabileceği en uygun alanı gösterirken, 0 bulunma olasılığı olmadığı anlamına gelmektedir.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Modelin çıktıklarına göre,  $AUC > 0.5$  olması nedeniyle model rastgele bir tahminden daha iyi bir performans göstermiştir. Elde edilen ROC eğrisindeki 0,936 AUC değeri (Şekil 4) modelin hassaslığını ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, model performansının çok iyi olduğunu yani modelin yüksek bir tahmin gücü olduğunu göstermektedir (Gassó vd., 2012).

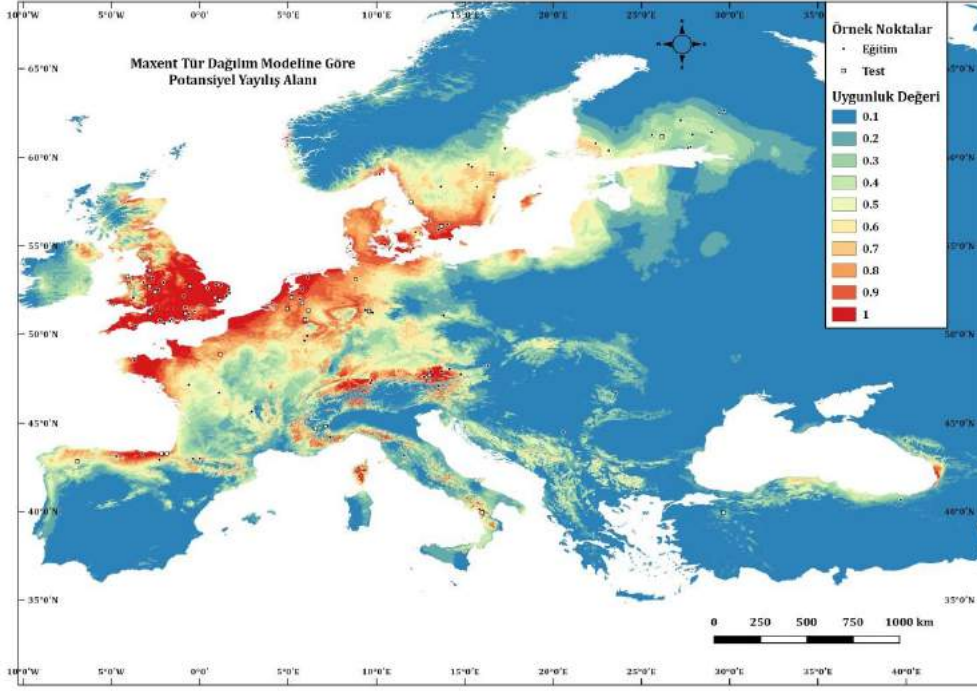


Şekil 4. Eğitim Verisi AUC Değeri

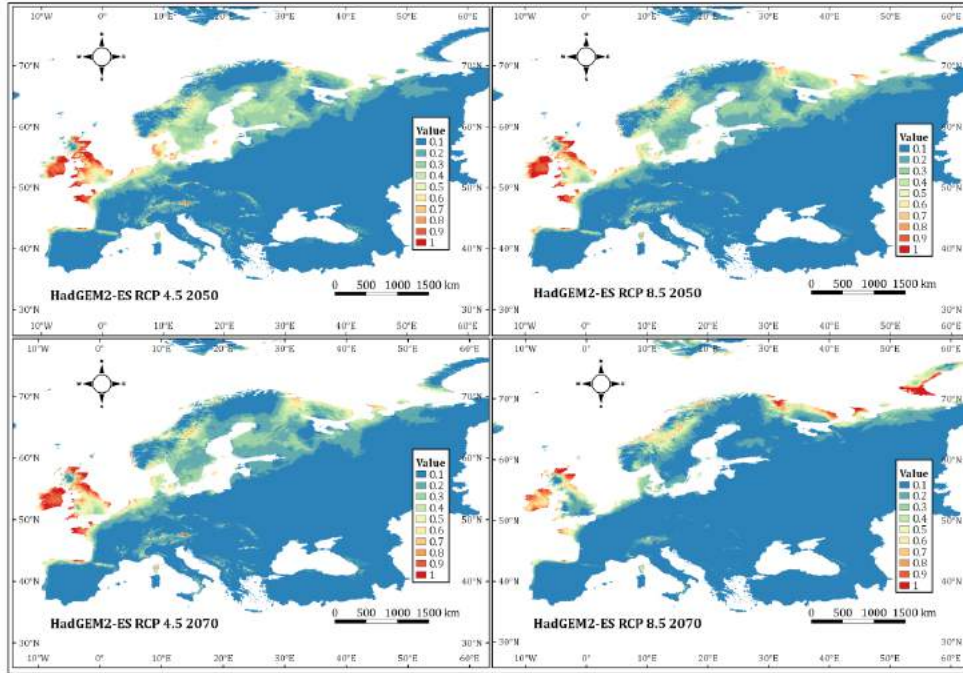
QGIS 3.8.2 versiyonu kullanılarak MaxEnt modeli tarafından yansıtılan *Calliteara pudibunda* için günümüz ve gelecekteki potansiyel dağılımlarına ait tahmin haritaları Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir. MaxEnt modelinde bir türün alanda bulunma oranı 0-1 arasında bir değer ile belirlenmektedir. Değerler 1'e yaklaştıkça türün potansiyel olarak o alanda bulunma oranı artmaktadır.

Çalışmada, *Calliteara pudibunda*'nın türe ait mevcut ve potansiyel dağılımın belirlenmesinde bulunma oranı 0,5'in üzerinde olan alanlar değerlendirmeye alınmıştır. Buna göre, zararlının günümüzdeki potansiyel yayılış alanının Karadeniz bölgesi başta olmak üzere kayının yayılış yaptığı sahalarla büyük oranda örtüştüğü dikkati çekmektedir. Ayrıca, RCP 4.5 ve RCP 8.5'a göre 2050-2070 projeksiyonlarında türün yayılış alanları modeli incelendiğinde türün gelecek projeksiyonunda da bir tehdit olarak ortaya çıktığı görülmektedir (Şekil 6).



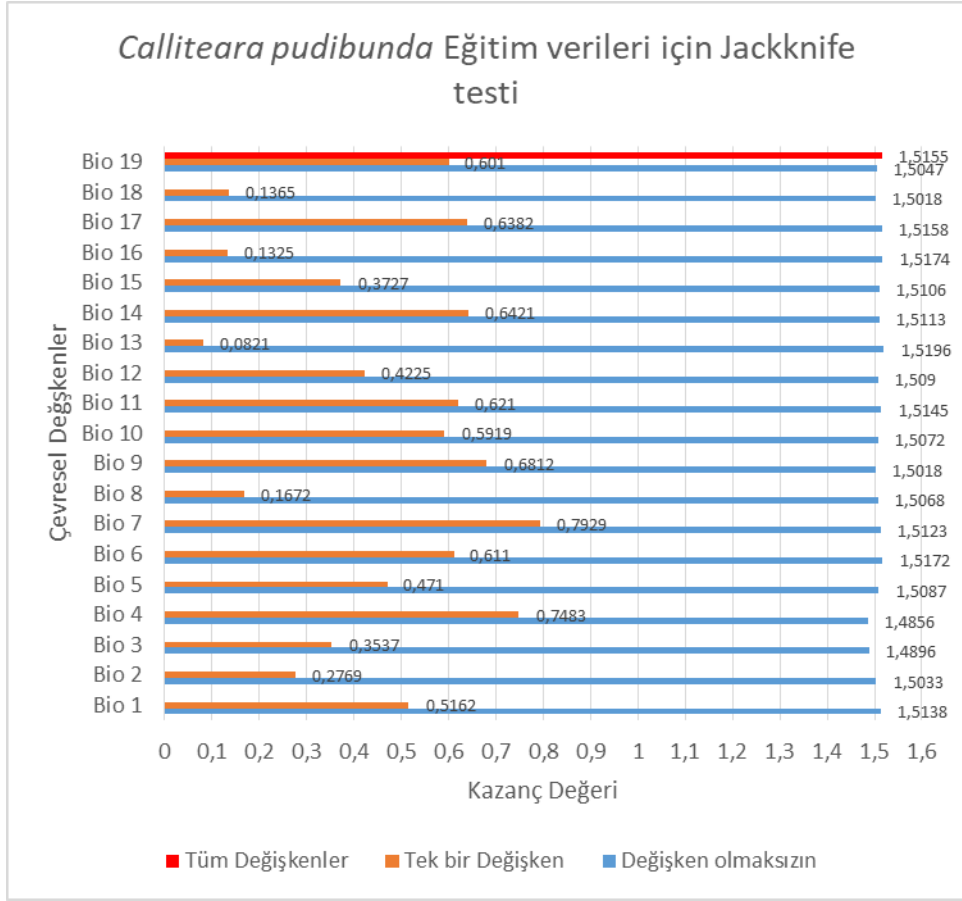


Şekil 5. *Calliteara pudibunda*'nın MaxEnt Tür Dağılım Modeline Göre Potansiyel Yayılış Alanı



Şekil 6. RCP 4.5 ve RCP 8.5'e Göre 2050-2070 Projeksiyonlarında Yayılış Alanları Modeli

Jackknife MaxEnt modelleme programında çevresel değişkenlerin etkilerini ölçmeye sağlayan bir seçenektir. Bu seçenek her bir bağımsız değişkenin modelin oluşturulmasındaki önem derecelerini belirlemeye olanak tanımaktadır. *Calliteara pudibunda* için oluşturulan jackknife testi kazanım tablosu Şekil 7'de görülmektedir. En yüksek kazancı olan çevresel değişken yıllık sıcaklık oranını gösteren Bio 7'dir. Bu değişkeni mevsimsel sıcaklığı gösteren Bio 4 ve en kurak çeyreğin yağış miktarı gösteren Bio 17 takip etmektedir. Bu bulgular türün dağılımını etkileyen en önemli çevresel değişkenlerin sıcaklık ile ilgili değişkenler olduğunu göstermektedir.

Şekil 7. *Calliteara pudibunda* için jackknife testi sonuçları

Güncel yayılış alanı ile gelecekte tahmin edilen yayılış alanları bir bütün olarak incelendiğinde *Calliteara pudibunda*'nın Avrupa'daki yayılış alanını korumakla birlikte, ülkemizde de özellikle Marmara ve Karadeniz Bölgesi geneline yayılışının genişleme ihtimalinin bulunduğu görülmektedir. Türün güncel ve gelecekteki potansiyel yayılış alanları kayın ormanlarının dağılımı ile örtüşmektedir. Bunun yanı sıra, zararlının yapraklı diğer orman ağaçlarında da polifag olarak besleniyor olması yayılış alanlarında yapraklı ormanların geneli için önemli bir potansiyel tehdit olarak karşımıza çıkmaktadır.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, İnegöl-Tahtaköprü mevkide sınırlı bir alanda kayın ormanlarında zararlı olan *Calliteara pudibunda*'nın günümüz ve gelecekteki potansiyel alanlarının giderek daha da artış gösterebileceği tahmin edilmektedir. Bu bağlamda başta kayın sahaları olmak üzere, yapraklı orman alanlarında İnegöl yöresinden başlamak üzere böceğin epidemisine karşı koruyucu önlemlerin alınması, mevcut yayılış sahasında biyolojik savaş başta olmak üzere mücadele yöntemlerinin ortaya konulması önemlidir. *Calliteara pudibunda* örneğinde olduğu gibi zararlı böcek türlerinin gelecekte sebep olabileceği potansiyel zararın tahmininde iklim değişikliği ve türlerin etkileşimine yönelik daha kapsamlı çalışmaların yapılmasının gerekliliği görülmektedir.

#### Kaynakça

- Anonim (2015). Türkiye Orman Varlığı. Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- Anşin, R. & Özkan, Z. C. (1997). Tohumlu Bitkiler. Odunsu Taksonlar. KTÜ Orman Fakültesi Yayınları, Trabzon.
- Arzone, A., Currado, I., Mazzoglio, P.J. & Patetta, A. (1994). Outbreak of *Calliteara pudibunda* in NW Italy (Lepidoptera: Lymantriidae). Atti XVII Congresso Nazionale Italiano di Entomologia, Udine, Italy, 13-18 Giugno 1994, 747-750.
- Atalay, İ. (1992). Kayın Ormanlarının Ekolojisi Ve Tohum Transfer Yönünden Bölgelere Ayrılması. Orman Ağaçları ve Tohumları İslah Araştırma Müdürlüğü yayınları, Ankara.
- Elith, J., Phillips, S.J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y.E. & Yates, C.J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. Diversity and Distributions, 17 (1): 43-57.
- Gassó, N., Thuiller, W., Pino, J. & Vilà, M. (2012). Potential Distribution Range of Invasive Plant Species in Spain. NeoBiota 12, 25.
- GBIF, (2019). Global Biodiversity Information Facility: Free and open access to biodiversity data.



- Göktürk, T. & Aksu, Y. (2005). Artvin İli Ormanlık Alanlarında Tespit Edilen *Calliteara pudibunda* (Linnaeus, 1758)'nin (Lepidoptera; Lymantriidae) Morfolojisi, Biyolojisi ve Beslenme Özellikleri Üzerine Bir Araştırma. Orman Mühendisliği, Yıl:43, Sayı:Temmuz-Ağustos-Eylül, 34-35.
- Heqvist, K.J. (1949). Om bokspinnarens (*Dasychira pudibunda* L.) uppträdande i Halland år 1946.- Svenska Skogsvårdsföreningens Tidskrift, 4: 219-227.
- IPCC, (2014). Impacts, Adaptation and Vulnerability: Summary for Policymakers. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York.
- Janben, J.H. (1998). Freilandstudien über den Buchenrotschwanz (*Dasychira pudibunda* L.) im Forstamt Podanin bei Budzyn unter Berücksichtigung einer dortigen Gradation in den Jahren 1992-1994.
- Klimentek D. (1972). Das Vorkommen des Buchenrotschwanzes (*Dasychira pudibunda* L.) in der Pfalz.- Allgemeine Forst-und Jagd-Zeitung, 143 (9): 192-195.
- Mazzoglio, P.J., Paoletta, M., Patetta, A. & Currado, I. (2005). *Calliteara pudibunda* (Lepidoptera Lymentriidae) in Northwest Italy. Bulletin of Insectology, 58(1): 25-34.
- Nilsson, I. (1978). The influence of *Dasychira pudibunda* (Lepidoptera) on plant nutrient transports and tree growth in a beech *Fagus sylvatica* forest in southern Sweden.- Oikos, 30: 133-148.
- Peter, M. (1986). An outbreak of *Dasychira pudibunda* L. (Lep., Lymantriidae). Entomologische Nachrichten und Berichte, 30(3): 125-16.
- Phillips, S.J., Dudík, M. & Schapire, R.E. (2004). A maximum entropy approach to species distribution modeling. In Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning, 655-662. ACM Press, Newyork.
- Urban, J. (1994). Biology of the red tail moth (*Calliteara pudibunda* L.): Part I. Moths, their occurrence and egg laying. Lesnictvi Prague 40 (7-8): 284-297.
- Wang, Y., Xie, B., Wan, F., Xiao, Q., & Dai, L. (2007). The potential geographic distribution of *Radopholus similis* in China. Agricultural Sciences in China 6, 1444-1449.
- Ward, D.F. (2007)=. Modelling the potential geographic distribution of invasive ant species in New Zealand. Biological Invasions 9, 723-735.
- Wellenstein G. (1978). Lymantriidae, Traegspinner, pp. 316-334. In: Die Forstschaedlinge Europas. 3. Schmetterlinge SCHWENKE W., Ed.)- Verlag P. Parey, Berlin und Hamburg.
- Williams, J. N., Seo, C., Thorne, J., Nelson, J. K., Erwin, S., O'Brien, J. M. & Schwartz, M.W.J.D. Distributions, 2009. Using species distribution models to predict new occurrences for rare plants. 15, 565-576.
- Wollan, A. K., Bakkestuen, V., Kauserud, H., Gulden, G. &ve Halvorsen, R.J.J.o.B., 2008. Modelling and predicting fungal distribution patterns using herbarium data. 35, 2298-2310.
- Yılmaz, M. (2010). Is there a Future for the Isolated Oriental Beech (*Fagus orientalis* Lipsky) Forests in Southern Turkey. Acta Silvatica & Lignaria Hungarica 6: 111-114.



## Farklı Oranlarda Mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) Bitkisinin Bazı Meyve Posaları İle Silolanma Özelliklerinin Belirlenmesi

Mehmet Sait İbrahimoglu<sup>1</sup>, Veysel Saruhan<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Bölümü, Diyarbakır, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3391-3802)

<sup>2</sup> Dicle Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4906-8917)

(İlk Geliş Tarihi 1 Eylül 2019 ve Kabul Tarihi 29 Eylül 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.618849)

**ATIF/REFERENCE:** İbrahimoglu, M.S., & Saruhan, V. (2019). Farklı Oranlarda Mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) Bitkisinin Bazı Meyve Posaları İle Silolanma Özelliklerinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 66-70.

### Öz

Bu araştırma; Mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) bitkisinin çeşitli oranlarda ilave edilmiş elma, armut ve limon meyveleriyle silolanması sonrası silaj kalite özelliklerinin belirlenmesi amacı ile yürütülmüştür. Bu amaçla yürütülen çalışmada; %95 mürdümük+%5 elma, %90 mürdümük+%10 elma, %85 mürdümük+%15 elma, %95 mürdümük+%5 limon, %90 mürdümük+%10 limon, %85 mürdümük+%15 limon, %95 mürdümük+%5 armut, %90 mürdümük+%10 armut, %85 mürdümük+%15 armut olmak üzere toplamda 9 uygulama yapılmıştır. Silolanmış bitkiler, ağzı kapalı hava almayacak şekilde plastik 2'şer lt'lik bidonlarda her uygulama için 3 tekrürlü olacak şekilde hazırlanmıştır. Silajlar 60 gün fermentasyona bırakılmıştır. 60 günün sonunda bidonlar açılıp fiziksel (renk, koku, strüktür) ve kimyasal analizleri (kuru madde, ham kül, ham protein, ADF, NDF ve pH) yapılarak Flieg puanı ve DLG puanı hesaplanmıştır. Yapılan tüm analizler sonucunda; ADF, Ham Protein (HP), ve pH değerleri arasındaki farklılıklar önemli bulunurken; Kuru madde (KM), Ham Kül (HK), NDF, Flieg Puanı (FP), renk, koku, strüktür ve DLG (Puan) değerleri arasında önemli farklılıklar bulunmamıştır. Elde edilen KM, HK, HP, ADF, NDF, pH ve flieg puanı (FP) değerleri sırasıyla ( %20.33-24.18, %10.19-11.37, %25.59-28.14, %28.09-35.12, %32.41-38.67, 4.12-4.26, 76.22-85.12 ) arasında değişmiştir. Çalışma sonrasında elde edilen sonuçlar; mürdümük silolarına karbonhidrat kaynağı amacıyla meyve atıklarının katılması karışımın oranının %85 mürdümük+%15 limon olacak şekilde silolanmasının kalite özellikleri açısından daha uygun silaj olacağı önerilebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Mürdümük, Silaj, Karışım, Fiziksel Özellikler

## Determination of Silering Properties of Grasspea Plants (*Lathyrus sativus* L.) with Some Fruit Posas in Different Rates

### Abstract

This research the aim of the study was to determine the silolation characteristics of different apple, pear and lemon mixtures of *Lathyrus sativus* L. In this study conducted for this purpose; A total of 9 applications were made: grasspea + 5% apple, 95% grasspea + 10% apple, %90 grasspea + 15% apple, 85% grasspea + 5% lemon, 95% grasspea + 10% lemon, 80% grasspea + 15% lemon, 85% grasspea + 5% pear, 95% grasspea + 10% pear, 90% grasspea + 15% pear The silaged plants were prepared as 3 repetitions in 2 liter plastic conisters which covered tightly so as no air intake. The physical examinations (color, smell and structure) and chemical analyses (dry matter, crude ash, crude protein, ADF, NDF, pH) were done as well as having been calculated the flieg scores, after the silage have been left for 60 days. As a result of analyzes; there were significant differences in crude protein, ADF, and pH values but there were no significant differences in color, smell, structure, flieg score (FP), NDF, dry matter (DM), crude ash, and DLG (score) values. The obtained values of dry matter (DDM), crude ash, crude protein, ADF, NDF, pH and flieg score were determined between 20,33-24,18%, 10,19-11,37%,

\* Sorumlu Yazar: Dicle Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, ORCID: 0000-0002-4906-8917, [vsaruhan@dicle.edu.tr](mailto:vsaruhan@dicle.edu.tr)

25,59-28,14%, 28,09-35,12%, 32,41-38,67%, 4,12-4,26 and 76,22-85,12 respectively. It can be suggested that the addition of fruit wastes to carbohydrate source in the silos is more suitable silage in terms of quality characteristics of the ratio of the mixture as 85% grasspea + 15% lemon

**Keywords:** Grasspea, Silage, Physical Properties, The Mixture

## 1. Giriş

Ülkemizin sanayisi, iklimi ve bitki örtüsüne bakıldığında isterse silaj ana materyali isterse de posa materyali olarak faydalanılabilecek pek çok artık ve yan ürün elde edilmektedir. Tarla ve bahçelerde toplanan seze ve meyvelerin artıkları ve üretim fazlası atıklar, ağaçların kabuk, sap, meyve ve yaprakları silaj yapımında kullanılabilecek ürünlerdir. Silaj olarak değerlendirilen bu ürünlerin uygulamada kullanılması; atıkların neden olabilecek çevre kirliliğini engelleme, yeni alternatif kaba yem kaynakları yaratma ve işletmenin finansal giderlerini azaltma konularında yarar sağlayacaktır.

Silaj, maliyet açısından ucuz ve yapımının kolay olmasından dolayı, hemen hemen her türlü bitkisel materyalden yapılabilmesi, fazla işçi ve işçiliğe ihtiyaç duyulmaması ve özellikle de besin maddeleri açısından kayıplarının minimum düzeyde olması avantajlarıyla ot kurutmak yerine tercih edilebilecek iyi bir alternatif yöntemdir (Filya, 2002).

Türkiye’de silaj ile ilgili yapılan çalışmalar mevcuttur. Örneğin; artık olarak kullanılan taze meyvelerden [elma (EP), şeftali (ŞP), kayısı (KP)] katkısız ve %35 KM bulunan buğday samanı + %0.1 ile karışım yapılarak silajlarda, EP, ŞP, KP karışımlarının KM düzeyleri %14.92, %14.21, %15.98; posalı elma, şeftali ve kayısı posası karışımlarının KM düzeyleri %34.11, %35.03, %32.93; pH düzeyleri EP, ŞP, KP silajlarında 3.91, 3.84, 3.87 ve katkılı silajlarında ise 4.20, 4.14, 3.18 olarak bulunmuşlardır (Yalçınkaya v.dğr., 2012).

Diyarbakır koşullarında mürdümük silajının ortalama pH değeri 3.99, kuru madde oranı %28.28, ADF oranı %31.32, NDF oranı %45.66, ham protein oranı %21.79, ham kül oranı %8.74 ve flieg puanını da 102.0 olarak tespit ettiklerini bildirmişlerdir (Seydoşoğlu ve Gelir, 2019). Tek yıllık baklagil yem bitkisi olan yem bezelyesi silajında, pH değeri 3.91, kuru madde oranı %27.50, ham protein oranı %18.75, ham kül oranı %8.38, flieg puanı 103.80, ADF oranı %32.65, NDF oranını ise %42.48 olarak rapor etmiştir (Seydoşoğlu, 2019a). Benzer şekilde mürdümük ile arpa silaj karışımlarında, mürdümük silajının ham protein oranını %22.96, ham kül oranını %8.50 ve flieg puanını da 101.53 puan aldığını bildirmiştir (Seydoşoğlu, 2019b).

Bu çalışmanın amacı, farklı oranlarda mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) bitkisinin bazı meyve posaları ile silolanma özelliklerinin belirlenmesidir.

## 2. Materyal ve Metot

GAP Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi tarafından tescil edilen Mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) çeşidi ve Diyarbakır semt pazarından alınan elma, armut ve limon meyvelerinin artıkları çalışmamızın materyallerini oluşturmaktadır. Deneme ekimi, Kasım ayında ekimi yapılmış olup, ot veriminin yüksek olması amacı ile Mayıs ayının ilk haftasında hasadı yapılmıştır. Silajlar farklı oranlarda %95 Mürdümük+%5 Elma, %90 Mürdümük+%10 Elma, %85 Mürdümük+%15 Elma, %95 Mürdümük+%5 Armut, %90 Mürdümük+%10 Armut, %85 Mürdümük+%15 Armut, , %95 Mürdümük+%5 Limon, %90 Mürdümük+%10 Limon, %85 Mürdümük+%15 Limon, olmak üzere toplamda 9 uygulama yapılmıştır. Materyaller belirtilen farklı oranlarda tartılıp, karıştırılıp 2 kg’lık 36 tane plastik bidona iyice sıkıştırılarak yerleştirilmiştir. Bidonların hava almasını engellemek için iyice sıkıştırılmıştır. İyice sıkıştırılıp daha sonra kapatılan bidonlar patlama, kapağın fırlatılıp atılması ve silajın hava alma risklerine karşı ağızları koli bandı yardımı ile iyice kapatılmıştır. Belirtilen oranlardaki tüm karışımlar silolandıktan sonra serin ve gölgelik bir ortamda 60 günlük süre ile bekletilmiştir. Bu süre sonunda bidonlar açılmış olup, fiziksel muayeneleri yapılarak pH değerleri belirlenmiştir. Daha sonra her bidondan örnekler alınarak 70 °C’de kurutma dolabında 11-12 saat ön kurutma işlemi uygulanmıştır (Kaplan v.dğr., 2016). Her bir karışımdaki materyal 3 tekerrürlü olacak şekilde toplamda 36 kavanoza doldurulmuştur. Deneme süresince boyunca bidonlar haftalık periyotlarla kontrol edilip materyallerin durumları yakından takip edilmiştir. Araştırmada silaj pH değeri bir pH metre yardımıyla ölçülmüştür. Flieg ve DLG puanı ise Alman Tarım Örgüt’nün değerlendirmesine göre yapılmıştır. Kuru madde, ham protein, ham kül, ADF ve NDF özellikler ise NIRS cihazı ile tespit edilmiştir.

Yapılan araştırma sonu bulunan verilerin analizi yapılmış olup, ortalamalar arasındaki farklılıkların saptanmasında AÖF testi yapılmış ve değişim katsayıları (DK) % olarak hesaplanmıştır.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Tablo 1’e göre farklı oranlarda mürdümük + elma, mürdümük + limon, mürdümük + armut karışımları arasında pH değeri bakımından istatistiki olarak %0.05 düzeyinde önemli farklılıklar bulunmuştur. En yüksek silaj pH değeri 4.26 ile %15 limon + %85 mürdümük karışımında bulunurken, en düşük pH değeri ise 4.12 ile %10 armut + %90 mürdümük karışımından elde edilmiştir. Uygulamalar açısından bakıldığında ise ortalama silaj pH değeri 4.18 olarak hesaplanmış olup, karışımların ortalaması silajın kalitesi açısından istenen bir değerdir.

Fermantasyon kalitesini ortaya koyan özelliklerden olan silajın pH değeri, silajdaki yemlerin yeterli düzeyde ekşimesini belirleyen önemli bir ölçüttür (İptaş ve Avcıoğlu, 1996). Silaj kalitesi belirlenirken fermantasyonu, pH değeri, amonyak ve organik asitlerin miktarları çok önemlidir.

Tablo 1. Silajların pH, kuru madde, ADF ve NDF oranları

Uygulama	pH	Kuru madde oranı (%)	ADF oranı (%)	NDF oranı (%)
%5 ELMA	4.25A	22.69	31.82	37.29AB
%10 ELMA	4.17BD	22.80	29.97	35.12AC
%15 ELMA	4.13D	20.33	35.12	38.67A
%5 LİMON	4.23AB	24.18	30.43	33.08C
%10 LİMON	4.18BD	23.13	28.09	32.46C
%15 LİMON	4.26A	20.74	31.59	37.10AB
%5 ARMUT	4.21AC	20.89	31.11	35.28AC
%10 ARMUT	4.12D	22.55	29.95	34.65BC
%15 ARMUT	4.18CD	21.94	31.97	38.37AB
Ortalama	4.18	22.14	31.11	35.78
LSD	0.06	Ö.D	Ö.D	3.83

Farklı oranlarda mürdümük + elma, mürdümük + limon, mürdümük + armut karışımları arasında kuru madde oranı ile ADF oranı bakımından istatistiki açıdan önemli farklılıklar bulunmazken, pH ve NDF oranı ise istatistiki yönden önemli bulunmuştur. Maksimum silaj KM oranı %24.18 ile %5 limon + %95 mürdümük karışımından elde edilirken, minimum silaj kuru madde oranı ise %20.33 ile %15 elma + %85 mürdümük karışımından elde edilmiştir. Uygulamalar açısından bakıldığında ise ortalama kuru madde oranı %22.14 olarak hesaplanmıştır.

Silajların kalitesinin belirlenmesinde önemli ölçütlerden birisi silaj kuru madde oranının belirlenmesidir. Yemin yaş ya da kuru numunelerinin ağırlığının belirli ölçüsünün, belirli sıcaklık derecesinde ısıtılıp suyu buharlaştırıldıktan sonraki ağırlığı alınarak kuru madde oranı bulunur. Kuru madde oranının artması veya azalmasına bağlı olarak yem kalitesinin değişiklik gösterdiği yapılan değişik çalışmalarla kanıtlanmıştır.

Farklı oranlarda mürdümük + elma, mürdümük + limon, mürdümük + armut karışımları arasında ADF oranı istatistiki açıdan önemli farklılıklar saptanmamıştır. Maksimum ADF oranı %35.12 ile %15 elma + %85 mürdümük karışımında bulunurken, minimum ADF değeri ise %28.09 ile %10 limon + %90 mürdümük karışımından elde edilmiştir (Tablo 1). Uygulamalar açısından bakıldığında ise ortalama ADF oranı %31.11 olarak hesaplanmıştır.

Kaba yemlerdeki sellülozun sindirilebilirliğini belirleyen kriterlerden biri ADF (ADF/ADS) oranıdır. Bu biçimde adlandırılmasının nedeni, sellüloz fraksiyonlarının kimyasal olarak belirlenmesinde nötr deterjan ve asit deterjanın çözücü olarak kullanılmasıdır. ADF, NDF (NDF/NDS) içerisinden hemi-sellülozün çıkartılması ile bulunur. Bu sebeple bu yapı, yemin hazmedilirliği ve hayvan tarafından enerji alımı hakkında bize ipucu gösterir.

Farklı oranlarda mürdümük+elma, mürdümük+limon, mürdümük+armut karışımları arasında NDF değeri bakımından %0,05 derecede önemli farklılıklar bulunmuştur. Maksimum NDF oranı %38.67 ile %15 elma+ %85 mürdümük karışımından elde edilirken, minimum NDF oranı ise %32.46 ile %10 limon+ %90 mürdümük karışımından elde edilmiştir. Uygulamalar açısından bakıldığında ise ortalama NDF oranı %35.78 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 2. Silajların ham protein, ham kül, DLG ve flieg punları

Uygulama	Ham protein oranı (%)	Ham kül oranı (%)	DLG Puanı	Flieg puanı
%5 ELMA	27.78AB	9.77	14.00	80.26
%10 ELMA	27.21AB	10.34	15.00	83.94
%15 ELMA	26.35BC	10.64	15.33	80.60
%5 LİMON	27.78BC	10.08	15.33	84.29
%10 LİMON	28.14A	10.51	12.33	83.92
%15 LİMON	26.29BC	11.37	17.00	76.22
%5 ARMUT	26.78AC	10.51	14.00	78.24
%10 ARMUT	25.59C	9.41	15.00	85.17
%15 ARMUT	27.10AC	9.08	16.67	82.76
Ortalama	27.01	10.19	14.67	81.71
LSD	1.67	Ö.D	Ö.D	Ö.D

Kaba yemlerdeki selülozun hazmedilebilirlik belirleyen kriterlerden bir diğeri de NDF (NDF/NDS) oranıdır. Bu isimle adlandırılmasının nedeni, selüloz (lifin) belirlenmesinde nötr deterjan ve asit deterjan çözücü olarak kullanılmasıdır. Kaba yemin hazmedilebilirliği, ADF ve NDF içerisinde bulunan ve çözünebilir maddelerin hazmedilebilirliği ve miktarı ile ilgili bir fonksiyondur. NDF hücre duvarında bulunan lifli karbonhidratlarını (hemi-selüloz ve selüloz), lignin, ligninleşmiş ve ısı sonucu tahrip olmuş bir miktar protein ve silisyum bulundurur. Bu bize yemin özgül ağırlığı hakkında da bilgi veren bir değerdir.

Silaj pH değeri, kuru madde, ADF ve NDF oranları ile ilgili çalışmalar incelendiğinde; bazı soya fasulyesi çeşitlerinde ortalama silaj pH değeri 5.75, kuru madde oranı %31.49, ADF oranı %34.43, NDF oranı ise %43.75 olarak rapor etmişlerdir (Kökten v.dğr., 2013). Bazı mısır çeşitlerinde ortalama silaj pH değeri 3.8, kuru madde oranı %24.8, ADF oranı ise %32.9 olarak tespit ettiklerini bildirmişlerdir (Seydoşoğlu ve Saruhan, 2017). Elde edilen sonuçlar, yukarıdaki araştırmacıların elde ettikleri bulgularla benzer olduğu belirlenmiştir.

Farklı oranlarda mürdümük+elma, mürdümük+limon, mürdümük+armut karışımları arasında ham protein oranı açısından istatistiki olarak %0.01 düzeyinde önemli derecede farklılıklar bulunmuştur. Maksimum ham protein oranı %28.14 ile %10 limon+ %90 mürdümük karışımında bulunurken, minimum ham protein oranı ise %25.59 ile %10 armut + %90 mürdümük karışımından elde edilmiştir. Uygulamalar açısından bakıldığında ise ortalama ham protein oranı %27.01 olarak hesaplanmıştır.

Organik maddelerin yapısında bulunan ve nitrojen içeren tüm maddelere “ham protein” denir. Proteinlerin %16’lık bir kısmını azot maddesi oluşturmaktadır. Ham protein; yapılan kimyasal analizler sonucu saptanan azot değerinin 6.25 katsayısı ile çarpılması ile sonuç bulunur. Yem kalitesinin belirlenmesinde önemli bir etken olan ham protein oranı yemin besin değeri hakkında önemli ipuçları vererek kullanılan bitkilerin hayvan beslenmesinde ne derecede etkili olacağını bizlere bildirmektedir.

Farklı oranlarda mürdümük + elma, mürdümük + limon, mürdümük + armut karışımlarında ham kül değeri istatistiki açıdan önemli derecede farklılıklara rastlanmamıştır. Maksimum ham kül oranı %11.37 ile %15 limon + %85 mürdümük karışımından elde edilirken, minimum ham kül oranı ise %9.08 ile %15 armut + %85 mürdümük karışımından elde edilmiştir. Uygulamalar açısından bakıldığında ise ortalama ham kül oranı %10.19 olarak hesaplanmıştır. Farklı oranlarda mürdümük + elma, mürdümük + limon, mürdümük + armut karışımları arasında DLG puanı bakımından istatistiki açıdan önemli farklılıklar bulunmamıştır. En yüksek DLG puanı 17.00 ile %15 limon + %85 mürdümük karışımında bulunurken, minimum DLG puanı değeri ise 12.33 ile %10 limon + %90 mürdümük karışımından elde edilmiştir (Tablo 2). Uygulamalar açısından bakıldığında ise ortalama DLG puanı ise 14.67 olarak hesaplanmıştır. Farklı oranlarda mürdümük+elma, mürdümük+limon, mürdümük+armut karışımları arasında flieg puanı bakımından istatistiki bakımdan önemli farklılıklar bulunmamıştır. Maksimum flieg puanı 85.17 ile %10 armut + %90 mürdümük karışımında bulunurken, minimum flieg puanı ise 76.22 ile %15 limon + 85 mürdümük karışımından elde edilmiştir. Uygulamalar açısından bakıldığında ise ortalama flieg puanı ise 81.71 olarak hesaplanmıştır. Silajın ham protein ve ham kül oranı, DLG ile flieg puanı ile ilgili çalışmalar mevcuttur. Yem bezelyesi silajında ham protein oranı %12.10-18.75, ham kül oranı %8.21-8.38, flieg 104.20-111.50 puan olarak tespit etmiştir (Seydoşoğlu, 2019a). Mürdümük silajında ham protein oranı %22.96, ham kül oranını ise %8.50 olarak tespit etmiştir (Seydoşoğlu, 2019b).

## 4. Sonuç

Genel olarak elde edilen sonuçlar ışığında; Mürdümük bitkisi ve elma, armut, limon meyveleri karışımlarından yapılan silolarda karışımın oranının %85 mürdümük+%15 limon olacak şekilde silolanmasının kalite özellikleri açısından daha uygun silaj olacağı önerilebilir.

## 5. Açıklama

Bu çalışma, yüksek lisans tezinden üretilmiş olup, Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projesi (ZİRAAT.17.005) tarafından desteklenmiştir.

## Kaynakça

- Filya, İ. 2002. Silaj yapımı. Silaj Bitkileri Yetiştirme ve Silaj Yapımı, Hasad Yayıncılık, Ankara.
- İptaş, S., Avcıoğlu, R. 1996. Silajlarda Fermantasyon Ürünleri İle Nitelik Belirleme Yöntemleri Arasındaki İlişkiler. *Türkiye 3. Çayır-Mera ve Yem Bitkileri Kongresi*, 17-19 Haziran. Erzurum.
- Kaplan, M., Baran, Ö., Unlukara, A., Kale, H., Arslan, M., Kara, K., Büyükkılıç, B., Konca, Y., Ulas, A. 2016. The Effects of Different Nitrogen Doses and Irrigation Levels on Yield, Nutritive Value, Fermentation And Methane Characteristics Of Corn Silage. *Türk J Field Crops*. 21(1): 101-109.
- Kökten, K., Boydak, E., Kaplan, M., Seydoşoğlu, S., Kavurmacı, Z. 2013. Bazı Soya Fasulyesi (*Glycine max* L.) Çeşitlerinden Yapılan Silajların Besin Değerlerinin Belirlenmesi. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 2(2): 7-10.
- Seydoşoğlu, S., Saruhan, V. 2017. Mısır Bitkisinde (*Zea mays* L.) Ekim Zamanı ve Çeşidin Silaj Kalitesi Üzerine Etkisi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 54 (3):361-366.
- Seydoşoğlu, S., Gelir, G. 2019. Farklı Oranlarda Karıştırılan Mürdümük (*Lathrus sativus* L.) ve Arpa (*Hordeum vulgare* L.) Hâsıllarının Silaj Özellikleri Üzerinde Bir Araştırma. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(1): 397-406.



- Seydoşoğlu, S. 2019a. Farklı Oranlarda Karıştırılan Yem Bezelyesi (*Pisum sativum* L.) ve Arpa (*Hordeum vulgare* L.) Hâsıllarının Silaj Kalitesine Etkisinin Araştırılması. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 56(3). 297-302.
- Seydoşoğlu, S. 2019b. Effects of Different Mixture Ratios of Grass Pea (*Lathyrus sativus* L.) and Barley (*Hordeum vulgare*) on Quality of Silage. *Legume Research*. DOI: 10.18805/LR-468.
- Yalçınkaya, M.Y., Baytok, E., Yörük, M.A. 2012. Değişik Meyve Posası Silajlarının Bazı Fiziksel Ve Kimyasal Özellikleri. *Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 9(2): 95-106.



# Internet of Things Based Parking Lot LED Lighting System

Fırat Aydemir<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Kütahya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8965-1429)

(First received 21 August 2019 and in final form 27 September 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.608956)

**ATIF/REFERENCE:** Aydemir, F. (2019). Internet of Things Based Parking Lot LED Lighting System. *European Journal of Science and Technology*, (17), 71-76.

## Abstract

In order to reduce energy consumption due to lighting, a good control mechanism should be established and more efficient lighting products should be designed. Conventional lighting products consume a lot of energy and pose a threat to the environment. And also, because of these lighting products which are based on time-dependent on-off control mechanism or manually switched on-off mechanism, sufficient efficiency and saving cannot be achieved. In this study, to minimize these drawbacks, a LED driver system and an Internet of Things based control system is presented for parking lot lighting. Instead of conventional lightings, LED lighting is used; and an efficient LED driver circuit is designed with the light level control option. To ensure the synchronous control of LED lighting, Internet of Things, one of the rapidly growing technologies, is integrated into the system. All data from the lighting nodes are sent to the cloud database via internet connections of the wireless sensor nodes. And a control software which is designed processes the data in the cloud database and writes back the light levels of each lighting nodes to the cloud database. As a result, an efficient lighting environment is created, unnecessary lightings are prevented, in case of failure of the lighting nodes necessary repairs can be planned easily, and also necessary statistical reports can be created according to the data locates in the cloud database.

**Keywords:** Internet of things, LED Driver, LED lighting.

# Nesnelerin İnterneti Tabanlı Otopark LED Aydınlatma Sistemi

## Öz

Aydınlatma kaynaklı enerji tüketimini azaltmak için, iyi bir kontrol mekanizması kurulmalı ve daha verimli aydınlatma ürünleri tasarlanmalıdır. Geleneksel aydınlatma ürünleri çok fazla enerji tüketirler ve çevreye tehdit teşkil ederler. Ayrıca, zamana bağlı açma kapama kontrol mekanizmasına veya manuel olarak açma kapama mekanizmasına dayanan bu aydınlatma ürünleri nedeniyle, yeterli verimlilik ve tasarruf sağlanamaz. Bu çalışmada, bu dezavantajları en aza indirmek adına, otopark aydınlatması için bir LED sürücü sistemi ve nesnelerin interneti tabanlı bir kontrol sistemi sunulmuştur. Geleneksel aydınlatmalar yerine, LED aydınlatma kullanılmıştır; ve ışık seviyesi kontrol seçeneği ile verimli bir LED sürücü devresi tasarlanmıştır. LED aydınlatmanın senkron bir kontrolünü sağlamak için, hızla büyüyen teknolojilerden biri olan Nesnelerin İnterneti sisteme entegre edilmiştir. Aydınlatma düğümlerinden gelen tüm veriler, kablosuz sensör düğümlerinin internet bağlantıları aracılığıyla bulut veritabanına gönderilir. Ve tasarlanmış bir kontrol yazılımı bulut veritabanındaki verileri işler ve her aydınlatma düğümünün ışık seviyelerini bulut veritabanına geri yazar. Sonuç olarak, verimli bir aydınlatma ortamı oluşturulur, gereksiz aydınlatmalar önlenir, aydınlatma düğümlerinin arızalanması durumunda gerekli onarımlar kolayca planlanabilir ve ayrıca bulut veritabanındaki verilere göre gerekli istatistiksel raporlar oluşturulabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Nesnelerin İnterneti, LED Sürücü, LED aydınlatma.

<sup>1</sup> Sorumlu Yazar: Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Kütahya, Türkiye, ORCID: 0000-0002-8965-1429, [firat.aydemir@dpu.edu.tr](mailto:firat.aydemir@dpu.edu.tr)

## 1. Introduction

Because of the increasing energy usage and costs, significant attention is required to take precautions for energy saving. It is estimated that more than 19% of electrical energy is used for lighting all around the world by the International Energy Agency (Zhang et al, 2011). With the developing technology in the lighting applications, LEDs become more common, they have some advantages such as being more energy-efficient, longer lifetime and no harmful mercury content like conventional fluorescent lamps (Hui et al, 2009). If all conventional light sources were replaced with LEDs, the total energy saving would be around 1000 TWh/year (Krames et al, 2007). Moreover, if we can control the LED lighting systems more effectively than it is now, we can significantly increase the amount of savings and lighting quality achieved.

To obtain a good control scheme, one of the hot topics these days, the Internet of Things (IoT), should be integrated into the system. IoT is a network contains smart devices that use embedded processors, communication hardware, sensors, and actuators (Patil et al, 2017). IoT based systems are used in various application areas, such as home monitoring (Kung et al, 2018), life monitoring for vehicles (Ni et al, 2018), smart irrigation (Taştan, 2019), fire alarm (Çeltek et al, 2017), mini aquarium (Lin et al, 2019). IoT devices collect data from the environment, analyzed these data locally or share these data by sending to the cloud through the Internet (Jin et al, 2014). According to the obtained sensor data, unnecessary active state durations of the lighting nodes can be minimized; furthermore, better lighting can be obtained.

In this study, an IoT based LED lighting system is proposed for parking lot illumination. As a LED driver circuit, an offline led driver circuit topology is used. For internet connection and control mechanism, ESP8266, a system-on-chip (SoC), which includes a 32-bit Tensilica microcontroller, standard digital peripheral interfaces, antenna switches, RF balun, power amplifier, low noise receive amplifier, filters, and power management modules, is chosen (ESP8266EX, 2019). The Firebase Realtime Database which is a cloud-hosted NoSQL database stores the data which are sent from wireless nodes. A windows application written in C# connects to the database and decides the light levels of every node, and write these decisions to the database to inform each wireless nodes.

The rest of this paper is structured in four sections. In Section II the proposed system’s methodology is presented and discussed. In Section III whereas a discussion on results is presented and finally in Section IV concludes the research.

## 2. Material and Method

Although the LED lighting systems consist of several different parts, each with its own specific set of tasks to perform, the circuit of the proposed lighting system can be broken down into four main parts: the LED driver, the power factor correction, the DC power circuit, and the control part; ESP8266, PIR motion sensor and LDR circuit. The block diagram and the connections between these parts can be seen in Fig.1.

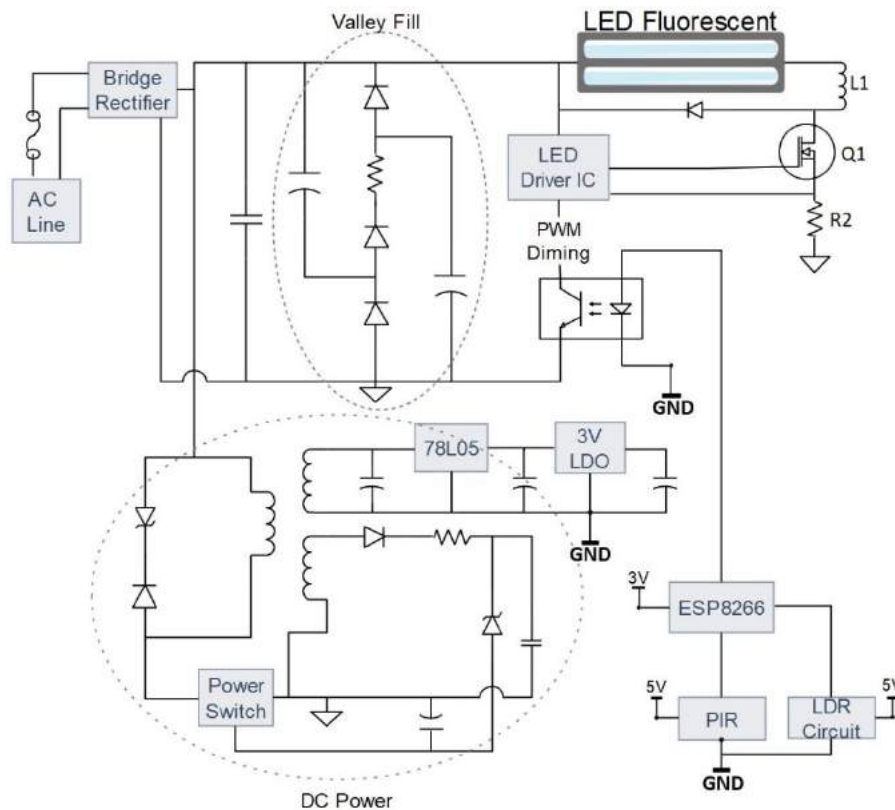


Fig. 1. The Block Diagram of The Proposed Circuit

A low cost, high efficiency, offline driver circuit is used to supply DC power to the serially connected LEDs in the array. The driver circuit is based on buck converter topology and it has wide input voltage range. CPC9909 is used as an LED driver IC in a buck converter circuit with current control. When the switching MOSFET (Q1) which is controlled by CPC9909 is turned on, current flows through the LED fluorescent and then inductor (L1). That flowing current is limited according to the current limiting resistor (R2) that locates after the switching MOSFET. When the voltage drop on the R2 resistor exceeds the threshold value, the CPC9909 turns switching MOSFET off. Q1 remains at off position for the fixed minimum off-time, and then it is turned on again. This same process repeats itself. Even if the limiting resistor is used to set the maximum LED current, a pulse width modulation (PWM) dimming function can be used via PWMD pin to limit the maximum LED current. According to the proposed design, the maximum output current of the LED driver circuit is 350mA. The driver circuit is tested for long periods of time at 55 degrees Celsius, and it is powered off and powered on more than 30000 times to make sure the circuit is designed properly.

Because the bridge rectifier with a capacitor is used to supply DC signal to the driver circuit, the AC line current ceases to be a sinusoidal signal. This results in a poor power factor condition, where the apparent input power is much higher than real power, power factor ratios of 0.5 to 0.7 are common. To improve the power factor, a simple and an effective passive power factor correction (PFC) circuit which is called Valley Fill is added between bridge rectifier and LED driver circuit (Drapela et al, 2008).

The DC power circuit is designed to power up the motion sensor circuit, LDR circuit and ESP8266 wifi module. The flyback topology is used which is the most common topology in low power applications because of its simplicity and low cost. As a control component, TOP200 switch which has three pins has all required functions for switched-mode power supply controls, such as switching MOSFET, internal oscillator for gate driving PWM signal, fault protection circuitry (TOP200-4/14, 1996). The high DC voltage is applied to the primary side of the transformer and it is switched at 100 kHz via the internal oscillator and the integrated high voltage MOSFET of the TOP200. At the secondary side of the circuit to get 5V DC voltage three-terminal positive voltage regulator, 78L05, is used for the PIR motion sensor circuit bias and light detector circuit bias. At the following of this regulator, another low dropout (LDO) voltage regulator, AMS1117 3.3V, takes place to apply 3V DC voltage to the ESP8266.

The control part of the proposed lighting system can be thought as a brain of this system. The control part consists of three components; ESP8266, PIR and LDR circuitry. ESP8266 is a wifi system on a chip device produced by Espressif Systems. It provides full internet connectivity in a small package with full TCP/IP stack and microcontroller capability. It is mostly used for the development of IoT (Internet of Things) embedded applications.

A passive infrared sensor, PIR, is an electronic sensor which measures infrared light radiating from objects. So, it is used to sense any motion in its field of view. The LDR circuit is usually used to detect the light level of the environment, however, in the proposed design, it is used to detect that if the LED array is functional or not. If it is not functional, it is reported to the maintenance service and necessary measures are taken as soon as possible. Because of the ESP8266-01 module has no analog input, the LDR sensor is used with operational amplifier comparator circuit.

The database which is used to store all sensor nodes data is the Firebase Realtime Database, a cloud-hosted database. Data received from any connected client sensor node, and remote monitoring and control PC is stored as JSON and synchronized in realtime (Firebase, 2019). The clients are connected directly to the Firebase Cloud and they write and read data from the realtime database periodically. The client nodes have a limited number of tasks due to their limited resources. One of their mission is to check the motion sensor, and turn on the light according to the existence of the motion; or at the absence of movement, to set the level of light according to the forced light level read from the database. This algorithm which is run on the ESP8266 is shown in Fig. 2. The control software, which runs on the remote computer, gets the all data from the firebase database and it decides to the optimum light levels of each client nodes and writes the forced light level on the database. And also according to the LED array errors which are set by nodes, it directs the repair staff to the relevant location. According to the monthly movements in the database, the control software makes plans of maintenance, cleaning, etc., and reports the statistics.

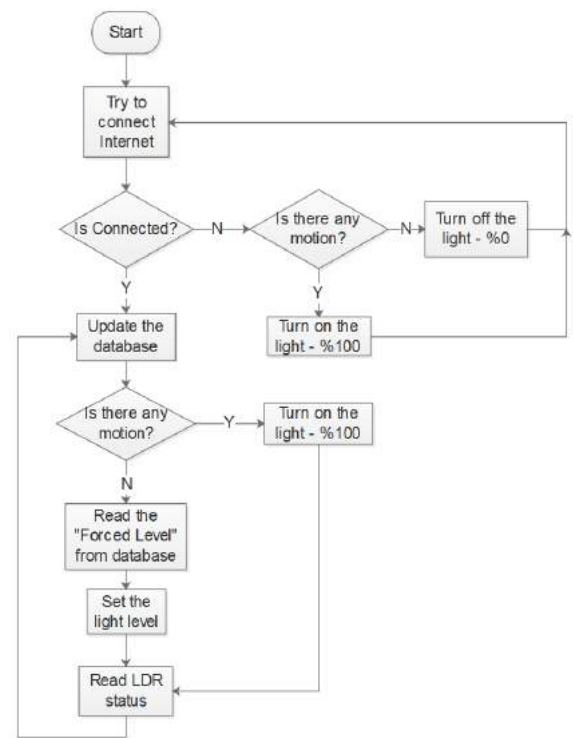


Fig. 2. The algorithm run on the client nodes

### 3. Results and Discussion

The prototype circuit of the proposed lighting system is shown in Fig. 3. The printed circuit board (PCB) is designed to fit in the LED fluorescent case; that's why the PCB is long and thin as possible as. In Fig.3.a the top side, in fig.3.b the bottom side of the prototype are shown. All components are chosen from the surface mount component packages; only the PIR sensor is used as a through-hole package. And finally Fig. 3.c shows the LED fluorescent.

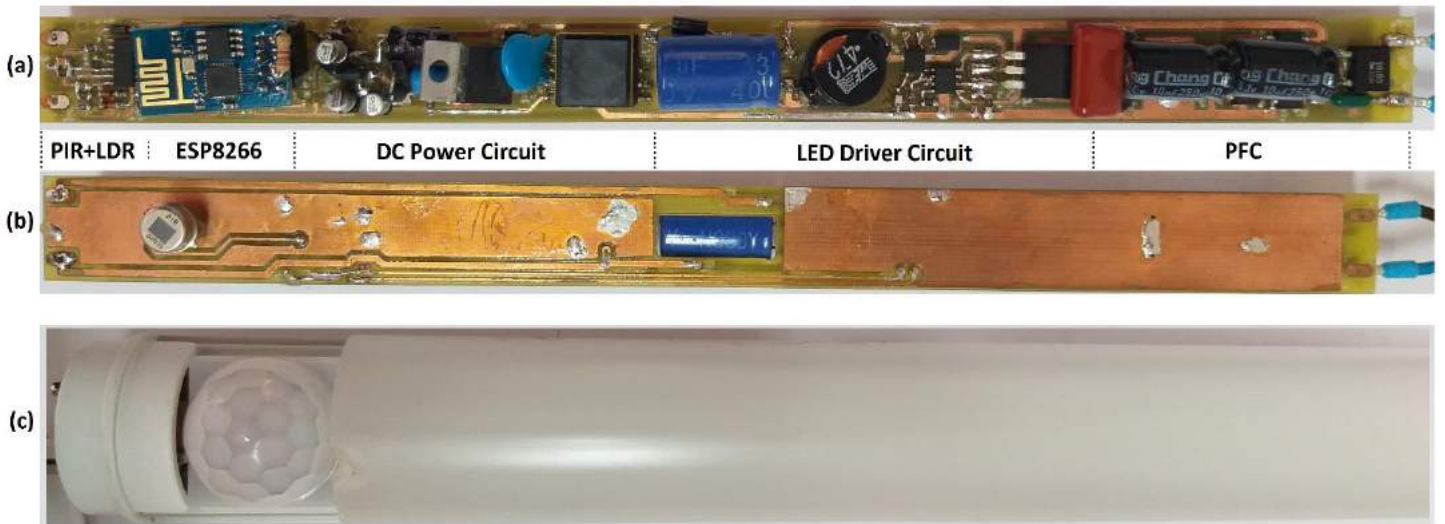


Fig. 3. The LED Fluorescent

The current of the LED array which is used in the design is 120 mA at the maximum light level. The light level is adjusted to 100% at the node that detects movement by PIR sensor. Moreover, the light levels at the neighborhood nodes of that active node are set to the different light levels such as 20%, 40%, 60% or 80% by the control software according to the closeness of this active node. For example; the level of light is set to 80% at the closest node to the active node, and at the furthest node, this level is set to 20%. In Fig. 4. the light level of 20% is shown. At the nodes which are not at the neighborhood of the active nodes, the level of lights is set to 0% to save energy. The light level of each node is adjusted through PWM pin of LED driver integrated circuit with the PWM signal which is applied from ESP8266.



Fig. 4. The light level is 20%

In order to achieve the above objectives, the proposed lighting system is designed as it is shown in Fig.5. When the nodes are set up for the first time, their unique ID numbers are saved in the Firebase Realtime Database (Fig.6. left side). From the control software (Fig.6. right side), which is programmed by using C#, the IDs of each node are matched with the floor IDs.

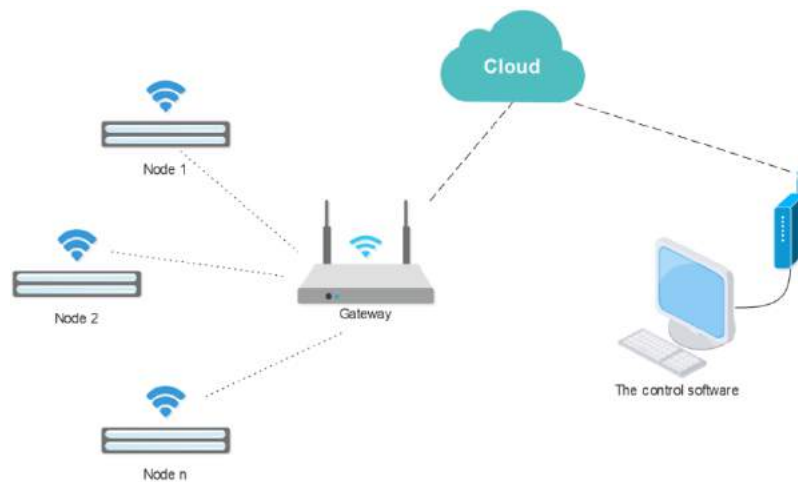


Fig. 5. The Architecture of The Proposed Lighting System



To test the proposed lighting system, a sample database was created by using one designed LED Fluorescent prototype and five ESP8266 wifi nodes which PWM outputs were followed through a single LED. These nodes were assigned at different locations at the parking lot through the control software. Error scenarios were created and monitored both through the database and the control software. In case of movement detection at the prototype node, the operating states of the system were performed.

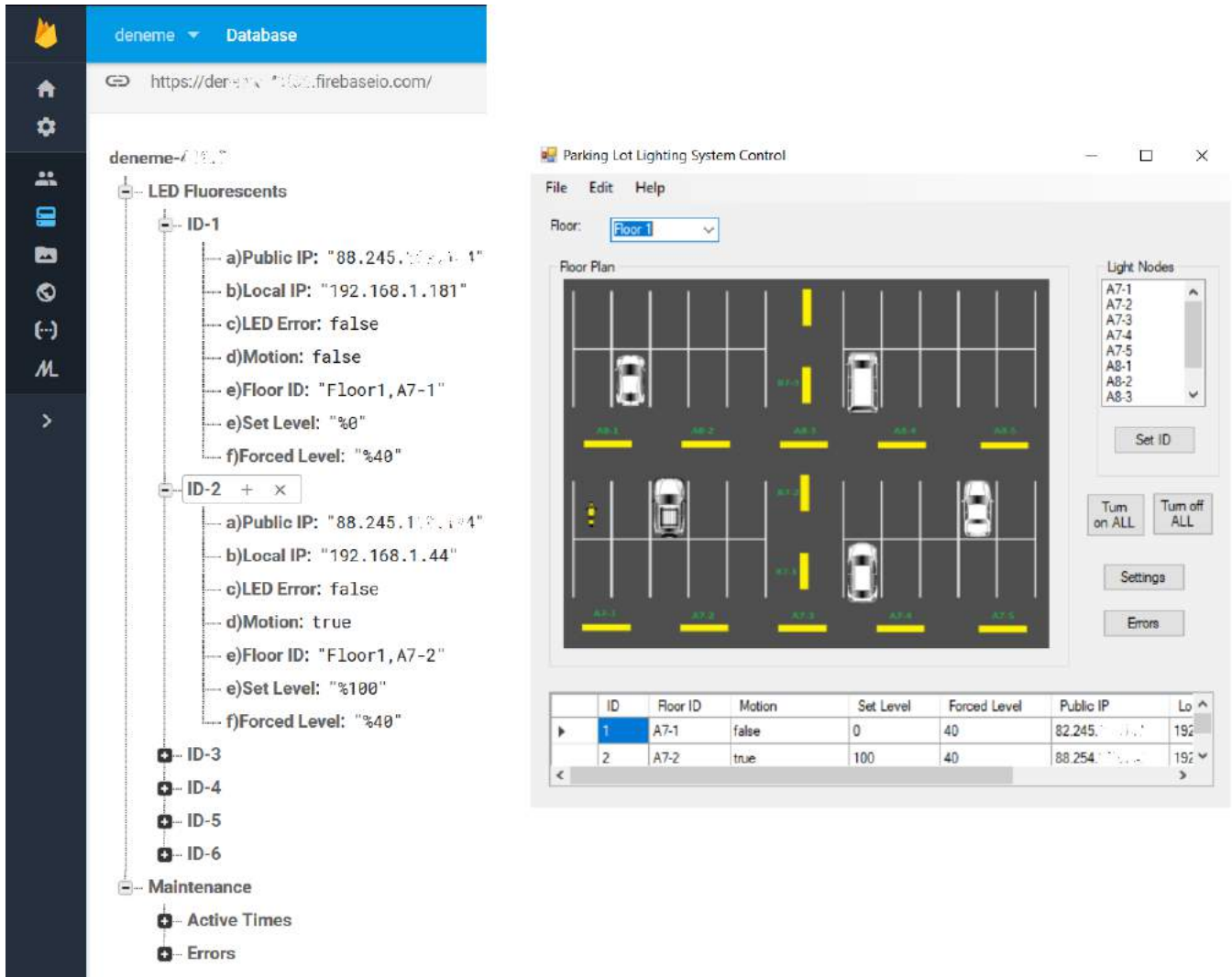


Fig. 6. The Firebase Realtime Database and The Control Software

#### 4. Conclusions and Recommendations

This paper presents an IoT based LED lighting system for parking lot lighting. Each lighting node, in other words, LED Fluorescent, includes a motion sensor, LDR sensor, ESP8266 Wi-Fi module, LED array and LED driver circuit. According to motion sensor output, ESP8266 turns on the light and send the related data to the firebase realtime database via internet connection. The control software turns on the neighboring lights of the node that is detected the movement, according to their distance to this node. While the nearest neighbor's light is too high, the farthest neighbor's light is less, and the irrelevant light nodes are kept off position so the wastage of power is reduced. If there is no illumination even though the node light is turned on, the node reports an error in the LED array; thus, the repair process can be done without any delay. Since any data got from the nodes is saved in the database, any report can be derived at any time. By adding the image processing features with the camera located at the entrance of the parking lot, this system can provide illumination of the road which the person or vehicle is supposed to go.

#### References

(1996, July). *TOP200-4/14 TOPSwitch Family Datasheet*. [http://images.100y.com.tw/pdf\\_file/TOP200-4,14.pdf](http://images.100y.com.tw/pdf_file/TOP200-4,14.pdf)  
 (2019). *ESP8266EX Datasheet*. [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf).  
 (2019, June 10). *Firebase Realtime Database*. <https://firebase.google.com/docs/database/>.  
 Çeltek, S., Durgun, M., Gökrem, L., & Durgun, Y. (2017). Nesnelerin İnterneti Tabanlı Yangın Alarm Sistemi Tasarımı ve Uygulaması. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi (GBAD)*, 66–72.

- Drapela, J., Bok, J. (2008). An improved Valley-Fill passive Power-Factor-Correction circuit for electronic ballast.
- Hui, S. Y., & Qin, Y. X. (2009). A general photo-electro-thermal theory for light emitting diode (LED) systems. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 24(8), 1967–1976.
- Jin, J., Gubbi, J., Marusic, S., and Palaniswami, M. (2014). An information framework for creating a smart city through the internet of things. *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 1, no. 2, pp. 112–121.
- Krames, M. R., Shchekin, O. B., Mueller-Mach, R., Mueller, G. O., Zhou, L., Harbers, G., & Craford, M. G. (2007). Status and future of high-power light-emitting diodes for solid-state lighting. *IEEE/OSA Journal of Display Technology*, 3(2), 160–175.
- Kung, Y. F., Liou, S. W., Qiu, G. Z., Zu, B. C., Wang, Z. H., & Jong, G. J. (2018). Home monitoring system based internet of things. In *Proceedings of 4th IEEE International Conference on Applied System Innovation 2018, ICASI 2018* (pp. 325–327).
- Lin, Y. B., & Tseng, H. C. (2019). FishTalk: An IoT-Based Mini Aquarium System. *IEEE Access*, 7, 35457–35469.
- Ni, F., Wei, J., & Shen, J. (2018). An Internet of Things (IoT) based Intelligent Life Monitoring System for Vehicles. In *Proceedings of 2018 IEEE 3rd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference, IAEAC 2018* (pp. 532–535).
- Patil, S. M., Vijayalashmi, M., and Tapaskar, R. (2017). IoT based solar energy monitoring system. *2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS), Chennai*, 1574-1579.
- Taştan, M. (2019). Nesnelerin İnterneti Tabanlı Akıllı Sulama ve Uzaktan İzleme Sistemi. *European Journal of Science and Technology*, 229–236.
- Zhang, J., Xu, L., Wu, X., & Qian, Z. (2011). A precise passive current balancing method for multioutput LED drivers. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 26(8), 2149–2159.



# Gypsum-Based Boards Made from Mixtures of Waste Cellulosic Sources: Part 2. Chemical and Technological Properties

Halil Turgut Şahin<sup>1\*</sup>, İlkan Demir<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Forestry, Dept. of Forest Products Engineering, 32260 Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5633-6505)

<sup>2</sup> Isparta University of Applied Sciences, Graduate Education Institute, 32260 Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1496-077X)

(First received 14 May 2019 and in final form 1 July 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.565258)

**ATIF/REFERENCE:** Şahin, H. T. & Demir, İ. (2019). Gypsum-Based Boards Made from Mixtures of Waste Cellulosic Sources: Part 2. Chemical and Technological Properties. *European Journal of Science and Technology*, (17), 77-85.

## Abstract

The highest total color difference values ( $\Delta E$ ) were found in the panels produced with the similar proportions of waste paper and OCC into gypsum (A4: 6.09; B4: 5.79). These boards have also show highest CIE whiteness reduction (A4: -33.19; B4: -28.44). With the help of FTIR, some chemical groups are modified to some extent but similar functional groups were observed in surface of boards. For A- and C-type boards, similar TGA degradation trends (spectra) were observed while the B-type panels show markedly higher mass loss, especially at initial temperature stage (100-120 °C). This is probably because of the presence of some non-cellulosic materials (i.e. starch, silica, etc.) and the high rate of lignin in sheet structure of OCC material. The flame propagation characteristic of the surfaces of all test boards shows that the flame did not reach the threshold limit of 150 mm. These indicates, even if the source of fire is not removed, flame did not reach the threshold limit that boards that could be classified as non-flammable material class according to TS EN-ISO 11925-2 standard.

The heat insulation properties of the test sample were found to be lowered with addition of lignocellulosic material to the gypsum structure. It was seen that waste paper ratio in gypsum structure higher than 10% (A3 to A6 boards) show better insulation properties than counterpart OCC (B-types) and secondary fiber based (C-types) gypsum boards. In general, reduction heat transfer in average values of samples attracted attention as compared with control specimens. Interestingly, the boards are indicated best insulation properties as mentioned above, show higher mass loss too. The highest mass loss for A-type boards found to be 3.52% (A6), for B-type boards 3.46% (B6) and for C-type boards 3.28% (C8).

**Keywords:** Waste paper, FTIR, TGA, gypsum board, heat insulation.

## Atık Selülozik Karışımı Kaynaklardan Üretilen Alçı Esaslı Levhalar: 2. Bölüm. Kimyasal ve Teknolojik Özellikler

### Öz

En yüksek toplam renk farkı ( $\Delta E$ ) benzer üretim şartlarında atık kağıt ve eski oluklu mukavvalardan üretilmiş levhalarda (A4: 6.09; B4: 5.79) gözlemlenmiştir. Bu levhalara aynı zamanda en düşük CIE whiteness değerleri göstermiştir (A4: -33.19; B4: -28.44). FTIR tekniği yardımıyla levhaların yüzeylerindeki kimyasal gruplar incelenmiştir. A ve C tipi levhaların diagramları benzerlik göstermekle birlikte B tipi levhaların TGA diyagramları oldukça farklı olduğu anlaşılmıştır. Özellikle başlangıç sıcaklık değerlerinde (100-120 °C) B tipi levhaların ağırlık kaybı diğer A ve C tipi levhadan daha yüksektir. Bu durum muhtemelern atık oluklu mukavva (B tipi levha)

<sup>1</sup> Corresponding Author: Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Forestry, Dept. of Forest Products Engineering, 32260 Isparta, Türkiye ORCID: 0000-0001-5633-6505, [halilsahin@sdu.edu.tr](mailto:halilsahin@sdu.edu.tr)

yapısında selülozik liflerden ayrı olarak daha yüksek oranda nişasta, silika, lignin bulunmasından ileri gelmesidir. Deneme levhalarının yüzeyine uygulanan alevin, tüm levhalar için kritik eşik değer olan 150 mm seviyesine gelmediği gözlemlenmiştir. Alev uzaklaştırıldıktan sonra dahi, yüzeydeki yayılma kritik sınır değerine ulaşmamıştır. Buradan üretilen deneme levhalarının TS EN-ISO 11925-2 standardına göre yanma malzeme sınıfına dahil edilebilir.

Deneme levhalarının ısı yalıtım özellikleri incelendiğinde, alçı yapısına lignoselüloik hammaddenin eklenmesinin olumlu katkı yaptığı anlaşılmıştır. Levha yapısında %10 dan daha yüksek atık kağıt eklenmesinin (A3-A6 levhalar) aynı üretim şartlarındaki atık oluklu mukavva (B tipi) ve sekonder lif esaslı (C tipi) deneme levhalarından daha yüksek ısı yalıtımı sağladığı anlaşılmıştır. Genel olarak ısı transfer ortalama değerleri kontrol örneğine göre daha iyi olduğu görülmüştür. İlginç olarak en yüksek ısı izolasyonu sağlayan örnek aynı zamanda en yüksek kütle kaybı göstermiştir. En yüksek kütle kaybı A tipi levhalarda %3,52 (A6), B tipi levhalarda 3.46% (B6) ve C tipi levhalarda 3.28% (C8) olarak ölçülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Atık kağıt, FTIR, TGA, Alçı levha, Isı yalıtımı

## 1. Introduction

The use of alternative cellulosic sources such as; agricultural and forest residues, secondary wood materials (wastes) or fast-growing annual plants have become important issue considering convert these low value materials in value added products. In this regard, there is plenty of literature finding available for industrial applications of that raw materials processing into composite panels or paper-based products (Atchison, 1993; Ndazi et al., 2006; Rials and Wolcott 1997; Youngquist et al., and 1997). However, the products obtained from these alternative sources may have some properties which are different from the characteristics of the conventional wood-based panels. They could, for example, exhibit some degree of resistance to fire, as a better sound and heat insulation material, and could be used as a building material in with inexpensively and effectively (Arslan and Sahin 2016, Sahin et al. 2018; Kaya and Sahin 2018).

Waste paper is a general name given to all kinds of paper, cardboard and paperboard that are completed its use. Due to technological developments and industrial improvements, using waste paper has become important topic for economic and environmental factors (Kaya, 2015). Especially in the last 50-60 years, post-consumer waste paper products have been becomes an important source for the paper industry. Moreover, one of the most important benefits of waste paper recovery is the production of cellulose raw material which is more economical production with the help of less harmful processes in the environment for paper industry (Baipai 2013 and 2018).

However, during the recycling process, some important changes occur in the structure of cellulose. Thereby, cellulose is inherited and the water swelling property is irreversibly reduced. Because intensive hydrogen bonds are formed in crystalline structure, resulting the markedly modification of elasticity and plasticization properties of the fibers (Atalla, 1992; Brancato, 2008; Hubbe et al., 2007). As a result of those changes, the flexibility and plasticity of the fibers is reduced and the hardness/brittleness increases and generally known as '*hornification*' (Kaya, 2015; Minor, 1994). Moreover, when once drying of the cellulosic fibers, re-treatment of the microfibrils with water again not effective as virgin fibers. In addition, without any sorting or grading of post-consumer waste paper products, the recycling process may result in loss of quality of recovered cellulose fibers and process efficiency (Thompson, 1992; Wistara and Young 1999).

The use of waste papers directly or as recycled fibers (secondary fibers) for composite panel industry might not require high-cost papermaking procedure (i.e. re-pulping, energy and capital intensive multi processes) rather than direct utilization as a raw material source for composite panel industry.

However, reduction of forest assets and environmental pressures leads increased sensitivity of people to the environment that make the use of waste paper more attractive. In first part of this study, it was investigate the physical and mechanical strength properties of gypsum-based composite panels that were made from the mixtures of three different cellulosic raw material sources (waste paper/OCC/secondary fiber) at various proportions with gypsum. In the second part of that study, the determination of some chemical and technological properties of those panels have been investigated and given in below.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Materials

The detailed description of cellulosic raw materials and gypsum with their specifications, with gypsum-based experimental panel manufacturing procedures could be found first part of this study. However, the board's code numbers and cellulosic additive of waste paper (A); OCC (B) and secondary fiber (C) with gypsum ratio at various proportions have also given in first part of this study.

### 2.1. Methods

A single flame combustion tests were carried out for determining ignitability of experimental panels. In this regard, a flame combustion test system was conducted according to TS EN-ISO 11925-2. A single-source small flame applied at 45° slope and distance of 20 mm from the middle of samples was initiated. The total test duration was 60s. At the end of test, whether the specimen ignition occurs or not at the flame spreads in the vertical direction more than 150 mm above (the flame application point). A visual observation of the sample was made and results recorded as positive or negative.

A Shimadzu (IR Prestige-21 series) FTIR spectrophotometer was used to evaluate the chemical groups present in the boards was made from selected samples. Thermogravimetric Analysis (TGA) is carried out using a Perkin Elmer SII instrument in order to measure changes in properties of experimental panels as a function of increasing temperature (with constant heating rate).

The natural weathering tests were conducted on 50x50x10 mm samples from experimental panels were exposed to weathering process for two months, The surface color changes were determined with X-Rite SP68 Spectrophotometer using CIE L\*,a\*,b\* standard (1976).

### 3. Results and Discussions

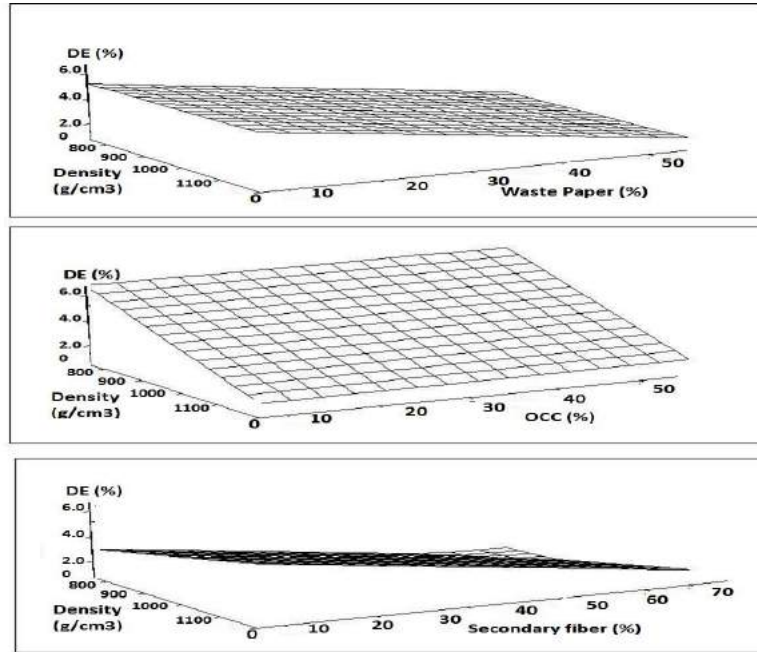
The surface color parameters ( $\Delta$ ; differences) according to the CIE L\*a\*b\* (1976) standard, which were measured before and after natural weathering process under external atmospheric conditions for 60 days, are given in Table 1. It is very difficult to explain all color parameters and relationships to each other. But it is the most commonly used method in the literature to explain total color difference ( $\Delta E$ ) of samples (Sahin and Arslan 2011; Sahin et al. 2011). It was realized that the highest and lowest total color differences were calculated in the experimental panels produced with the same proportions of waste paper-OCC into gypsum matrix. When increase waste paper and OCC into panel structure, an increase trend was found for both (A&B) type boards. The highest color differences of 6.09 and 5.79 for A4 and B4 boards found, respectively. As expected these experimental panels have also show highest CIE whiteness reduction (A4: -33.19; B4:-28.44). But for C-types, the highest total color difference of 4.37 and CIE whiteness reduction of -20.92 were observed in C7 panel.

**Table 1.** Color properties of experimental panels after natural weathering process (60 days)

Board code	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$	CIE Whiteness
<b>Waste paper/gypsum-based experimental panels</b>					
A1	-1.2	-0.65	-2.18	<b>2.57</b>	7.85
A2	-0.52	-0.12	0.29	0.61	-2.73
A3	-3.17	0.56	3.65	4.87	-2.81
A4	-2.44	0.81	5.52	<b>6.09</b>	<b>-33.19</b>
A5	-3.39	0.91	4.12	5.41	-28.83
A6	-0.67	0.44	2.97	3.08	-16.4
<b>OCC/gypsum-based experimental panels</b>					
B1	-1.2	-0.65	-2.18	<b>2.57</b>	7.85
B2	0.59	-0.22	-0.23	0.67	2.51
B3	1.5	-0.76	2.98	3.42	18.42
B4	-5.48	-0.22	1.87	<b>5.79</b>	<b>-28.44</b>
B5	-4.3	-0.11	3.68	5.66	-22.09
B6	-3.57	-0.63	3.5	5.04	-26.06
<b>Secondary fiber/gypsum-based experimental panels</b>					
C1	-1.2	-0.65	-2.18	<b>2.57</b>	7.85
C2	0.14	-0.59	-1.18	1.33	6.23
C3	-1.62	-0.59	1.27	2.14	-10.29
C4	-3.86	-0.82	-0.82	4.03	-3.87
C5	-1.82	-0.42	0.14	1.87	-3.15
C6	-3.14	-0.39	1.26	3.41	-13.58
C7	-3.69	-0.64	2.25	<b>4.37</b>	<b>-20.92</b>
C8	-0.25	-1.05	-0.17	1.09	0.33

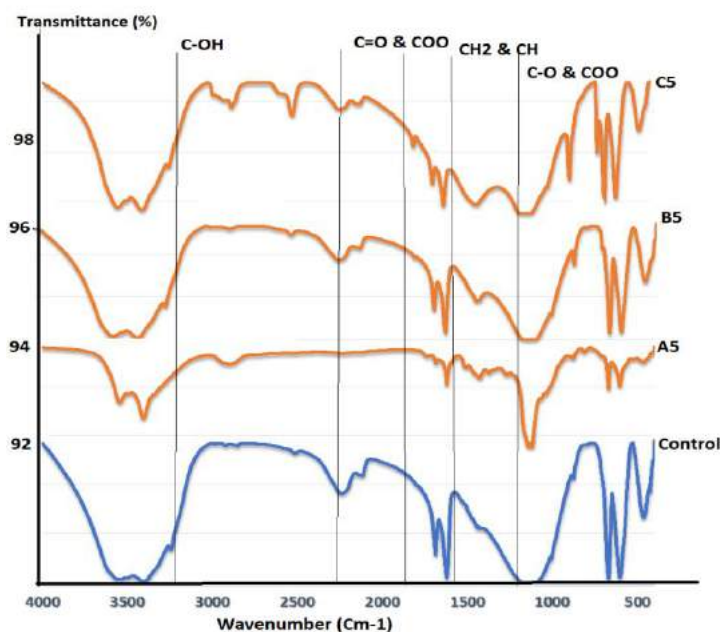
The combined effects of panel density and cellulosic additive level on surface total color difference properties is shown in Figure 1. As explained above, all three cellulosic additives markedly effects on surface color changes some level. However, it has clearly realized that waste paper and OCC addition with increasing panel density markedly effects on color reduction (increasing total color difference) (Fig. 1A& B) while less effect on secondary fiber-gypsum based experimental panels (Fig.1C).





**Figure 1.** Cellulosic additive and board's density effects on surface color properties of experimental panels (A: A-types; B: B-types; C: C- types)

The comparative Fourier Transformation Infrared Spectroscopy (FTIR) spectra presented in Figure 2. As it is known, FTIR technique is a widely used method in determining the solid material surface functional groups. In this study, it was aimed to determine the functional groups on the surfaces of the experimental panels produced by adding different proportions of cellulosic raw materials to the gypsum structure. Generally, peaks in the range of 1030-1060  $\text{cm}^{-1}$  and 1145-1162  $\text{cm}^{-1}$  are assigned to C-O and C-O-C tension in polysaccharides (cellulose & hemicellulose). However, 1500-1610  $\text{cm}^{-1}$  are C=O and COO-symmetric tension vibrations in aromatic rings that considered to a characteristic peak for lignin components (Pandey, 2005; Demir, 2019). It was proposed that the peaks in the range of 1360-1380  $\text{cm}^{-1}$  were C-H degradation in polysaccharides and the change in that peak indicator for the change in the hydrophilic property of cellulosic material (Can and Sivrikaya 2017). Similarly, C-OH bands in the range of 2900 through 3100s  $\text{cm}^{-1}$  indicator of -OH groups in cellulosic materials that some changes (decrease or increase) in that region were shown property changes. In our study, the structure of lignin and hemicellulose looks like modified some degree in water-gypsum mixture environment. Those in a weak alkaline condition could be affects some cell wall compenents especially polysacahardies and oligomers. While the gypsum is freezing, its volume is narrowed to around 7% that called *calcination* to evaporate the water of the gypsum (Demir, 2019), in the open air, in a weak alkalen conditions could be affects some cell wall compenents. Although it is difficult to explain all the chemical changes in the board matrix structure with the help of FTIR but similar functional groups were observed in FTIR spectra as seen in Figure 2.

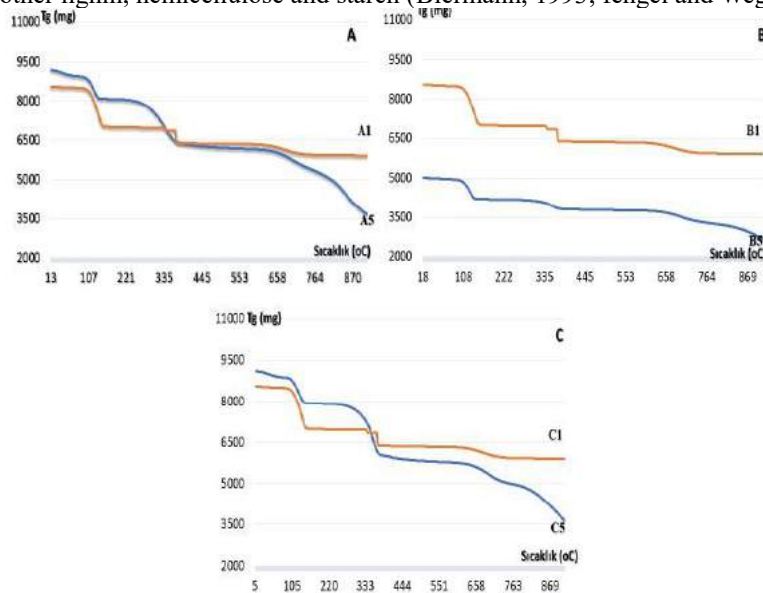


**Figure 2.** Fourier Transformation Infrared Spectroscopy (FTIR) of experimental panels

However, one of the most commonly used approaches is TGA (Thermal Gravimetric Analyzer) method for determining temperature-time degradations of the components of the composite materials (Kaya, 2015). In this regard, temperature-dependent TGA mass-change micrographs at the temperature range of 25-900 °C is shown in Figure 3.

The degradation values obtained in the TGA graph are explained in four different temperature zones. Zone 1 is assigned to be a heating zone and approximately 7-10% mass loss is caused by drying due to the moisture inside the material up to 100-110 °C. Zone 2 is considered to be the water is completely removed from the cell wall in the cellulosic fibers between 110-250 °C. Above this temperature, the cellulosic material is considered to degrade significantly. Zone 3 is assigned to completely break down of cellulosic substances as rapidly in the 300-360 °C range and the mass loss occurs approximately 75-80%. At these temperature levels, the constituents have become solid to gas state rapidly and cell structures significantly degraded. Zone 4 is considered to some non-organic residues such as; ash or char and the mass loss of the sample reached to above 90% at the temperature range of 400-900 °C.

When Figure 3 carefully reviewed, it was realized that both A5 and C5 (Fig. 3 A&C) experimental panels looks like similar degradation trends. However, the graph of B5 (Fig. 3B) show a very high mass loss, especially at initial temperature ranges (100-120 °C). It is presumed that this is probably due to the presence of some non-cellulosic materials in the structure of OCC and the high rate of lignin in sheet structure. Because both A- and C- type panels produced from fully bleached kraft paper particles (A) and recovered fibers (C) while OCC typically contains higher lignin in sheet structure with some non-cellulosic additives such as starch, sodium silicate and hemicellulose substances that easily degraded with temperature rather than cellulose (Fengel and Wegener, 1984). Moreover, corrugated cardboards consist of at least three sheets (one corrugated layer) with two surface plain papers. Various types of papers could be useful at inside or outer surfaces (liner papers). Some example of these papers as; kraft liner, test liner, NSSC and fluting etc. (Biermann, 1993; Smook, 1994). Hence, corrugated boards have different properties and characteristics compare to office papers. Due to fully bleached kraft waste paper particles (A) and recycled office paper fiber (secondary fibers) (C) utilized in this study, they are typically containing more than %90 cellulose in their sheet structure. It is well known that cellulose is more resistant temperature degradation than other lignin, hemicellulose and starch (Biermann, 1993; fengel and Wegener, 1984).



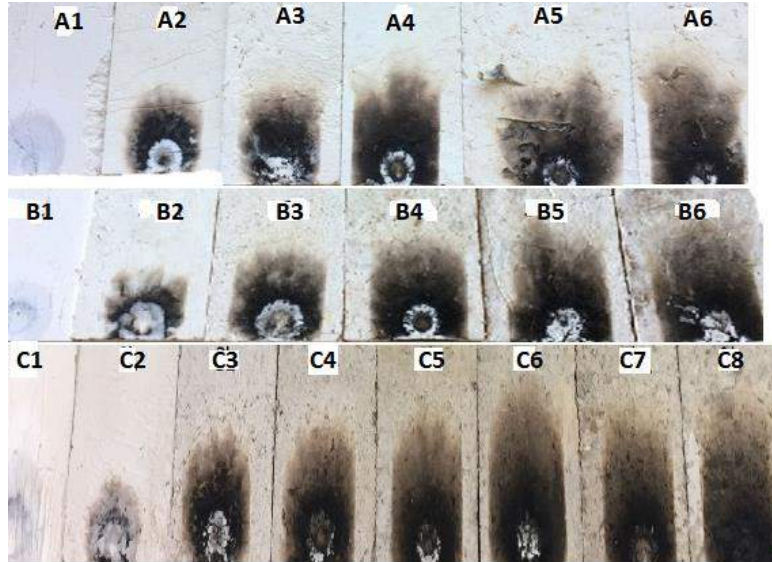
**Figure 3.** TGA spectra of gypsum based experimental panels (A: Waste paper-gypsum; B: OCC-gypsum; C: secondary fiber-gypsum).

TGA analysis at four different temperature degradation and mass loss properties are given in Table 2. It was divided four different temperature level as; starting temperature (Tb) 122 °C, first maximum temperature (Tm1) 406 °C, second maximum temperature (Tm2) 650 °C and last final temperature (Ts) 692 °C. When the Table 2 carefully overviewed, the lowest mass loss at all temperature levels was in the boards produced from the OCC-gypsum mixture. It has also realized that the initial degradation temperature (Tb) for all boards close to each other (115-122 °C) while there is very different last final temperature (Ts) levels (692-891 °C) were observed for experimental boards.

**Table 2.** The TGA analyses of experiemntal panels

Board code	Tb (°C)	Mass loss (%)	Tm <sub>1</sub> (°C)	Mass loss (%)	Tm <sub>2</sub> (°C)	Mass loss (%)	Ts (°C)	Mass loss (%)
A1-B1-C1	122	7.0	406	8.0	-	-	692	12.7
A5	119	5.0	329	11.0	700	36	850	45
B5	115	4.75	348	4.84	690	24	883	31
C5	117	4.0	347	12	676	35	891	49

According to the TS EN-ISO 11925-2 standard, the flame propagation characteristic of the surfaces of the experimental panels as a result of combustion tests with single flame source is shown in Figure 4. It was observed that the burning pattern on the surface of all test boards produced by adding three different cellulosic raw material sources to the gypsum structure did not reach the threshold limit of 150 mm that specified in the standard value. The test boards showing the closest behavior to this limit were observed in secondary fiber-added experimental panels (C6, C7 and C8). This is expected because gypsum is considered to be A class material as a non-flammable class. In other words, these non-flammable materials do not carry out any flame, even if the source of fire is not removed. The findings and the appearance in Figure 4 support this hypothesis. But some flammable materials in gypsum may result some level flammable behavior as realized in this study. But the test boards still a non-flammable class (A) while flame did not reach the threshold limit of 150 mm.



**Figure 4.** The flame propagation characteristic of experiemental panels.

For determining thermal insulation properties, the temperature values passing to the back surfaces were measured in accordance with DIN 4102 standard for 30 seconds intervals and for a total of 300 seconds. For this test, measured values are shown as a thermal insulation value with a total mass loss in Table 3. Generally, in all panel types and production conditions (A1 to A6; B1 to B6; C1 to C8), it has been observed that the addition of lignocellulosic material to the gypsum structure has a negative effect on the heat transfer properties of the test boards (improving thermal insulation properties). The highest insulation properties (lowest heat transfer rate) in all three types of boards are found to be 68.2 °C for A6, 76.2 °C for B6, 79.4 °C for C8 boards, respectively. It is realized that waste paper ratio higher than 10% (A3 to A6) show better insulation properties than both counterpart OCC (B- types) and secondary fiber based (C-types) gypsum experimental panels.

However, mass loss values (burning behavior characteristics) which occurred as a result of the process with the single flame source of the boards for 5 minutes (300 seconds) also presented in Table 3. Generally, the increase in the ratio of the lignocellulosic additive into gypsum effects on mass loss increasing. The highest mass loss on these three different type boards were measured as 3.52% for A6 board, 3.46% for B6 board and 3.28% for C8 board. Interestingly these boards are also indicated best insulation properties as mentioned above. With having this measurement, it could be concluded that the addition of waste paper, OCC and secondary fibers into gypsum matrices have improved heat insulation properties of some level. However, values for mass lost particularly high mainly due to increasing cellulosic raw material content. This is probably gypsum that could be interaction waste paper and OCC particles to form some mechanical bonding, which resulted in easy removing of gypsum particles with those esay burned cellulosic materials compared with only gypsum based panels (control). Thereby, cellulose might be easily burned while it has effects on gypsum lost during degradation of those easily burned materials. The result found in above support this hypthoses.

After the determining thermal insulation properties with DIN 4102 standart a total of 300 seconds, the surface apperance of experimetal test boards are presented in Figure 5. It can be seen that although some degradation and char formed, all these panels look like acceptable heat insulation properties with some level mass loss.



Figure 4. Combustion behavior of test boards for total of 300 seconds.

Table 3. Heat insulation and mass loss properties of test boards

Time (Second)	0	60	120	180	240	300	Mass loss (%)
<b>Waste paper/gypsum-based experimental panels</b>							
A1	16.9	64.9	93.0	124.9	133.7	135.4	1.64
A2	14.4	51.9	78.3	100.9	105.2	148.3	1.85
A3	12.2	20.2	51.7	60.8	67.2	68.7	2.35
A4	12.6	22.2	61.0	73.0	78.2	78.3	2.37
A5	13.6	16.9	41.4	66.6	72.7	74.6	2.48
A6	10.4	15.6	30.4	57.8	67.6	68.2	3.52
<b>OCC/gypsum-based experimental panels</b>							
B1	18.1	93.3	127.1	137.9	160.8	161.0	1.51
B2	15.7	51.0	83.8	96.1	100.5	125.1	1.35
B3	14.1	24.6	61.5	66.7	75.9	90.8	1.49
B4	12.4	30.4	62.7	72.4	72.8	80.4	2.75
B5	11.7	26.4	58.3	66.4	75.9	98.0	2.9
B6	9.4	26.1	39.6	73.2	85.1	76.2	3.46
<b>Secondary fiber/gypsum-based experimental panels</b>							
C1	17.2	52.8	78.2	86.6	112.3	123.8	1.32
C2	15.5	22.3	50.4	71.2	78.6	84.9	1.61
C3	15.1	26.5	48.7	73.8	82.5	104.0	1.56
C4	13.9	24.5	69.7	86.7	89.9	107.4	2.2
C5	13.5	30.8	60.7	80.6	86.9	98.1	2.15
C6	28.3	45.3	76.4	84.2	86.6	87.6	3.09
C7	13.2	17.0	38.1	61.8	67.9	84.7	3.13
C8	12.2	17.7	53.6	70.6	79.9	79.4	3.28

Figure 5 show correlation effects of panel density and cellulosic additive level on mass loss properties of experimental panels. As mentioned above, cellulosic additives effects on panels insulation properties positively but mass loss is also increased. However, it could be seen that in all conditions and additional level of these raw materials, increasing panel density and raw material sources increasing effects on mass loss (Fig 5. A,B and C). This trend looks like more-less similar for all three type experimental boards.



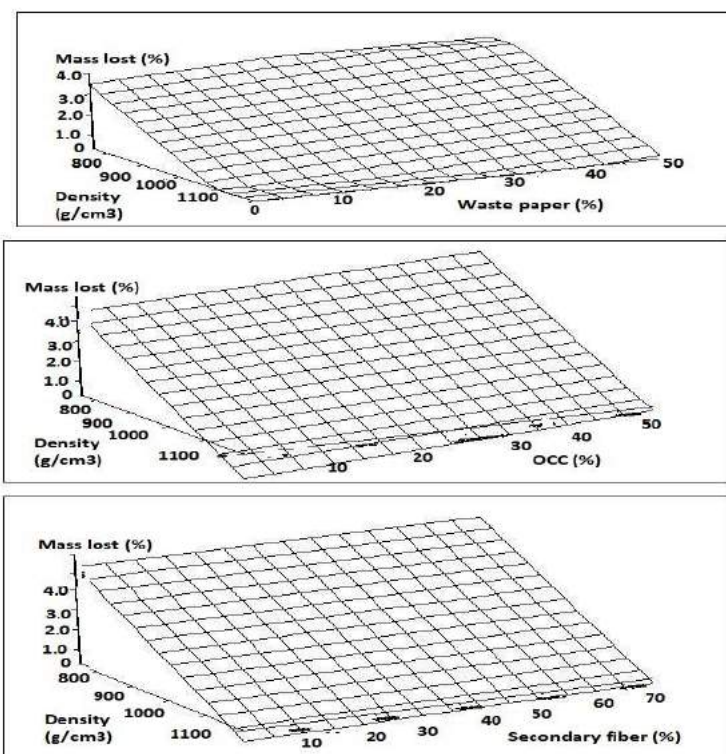


Figure 5. Cellulosic additive and board's density effects on mass lost of test boards (A: A-types; B: B-types; C: C- types)

## 4. Conclusions

The experimental result show that the production of gypsum-based panels technically feasible. However, there are many reasons for manufacturing gypsum-based composite materials that are stronger, lighter, or less expensive when compared to traditional materials. However, since increasing demand on wood material, this is leading to the need to investigate sustainable materials to replace existing ones. This is possible to use low value lignocellulosic materials in gypsum structure. Hence, paper wastes may exhibit some advantages, such as availability, low cost, non-hazardous nature, and low density. Although the waste paper-gypsum compatibility looks like low, but addition of some chemical substances could be improved for that to provide adequate bonding capacity to gypsum-based composites.

## References

- Arslan, M.B and Sahin, H.T. (2016). Properties of particleboards produced from poppy (*papaver somniferum l.*) stalks, *J. Adv. in Biology & Biotech.*, 6(2): 1-6.
- ASTM-C 1113-09.(2013). 'Standard Test Method for Thermal Conductivity of Refractories by Hot Wire (Platinum Resistance Thermometer Technique)', *ASTM International*, West Conshohocken, PA.
- Atalla, R.H. (1992). Structural Change in Cellulose During Papermaking And Recycling. in: Rowell, Et. Al. Eds. Material Interaction Relevant To Recycling Of Wood-Based Material: Proceeding of Materials Research Society Symposium; 1992 April 27-29, San Francisco, CA.
- Atchison, J.E. (1993). Data on non-wood plant fibers, In: Properties of fibrous raw materials and their preparation for pulping, M.J.Kocurek (Ed), Pulp and paper manufacture Vol.3, Joint Textbook Committee of the Paper Industry, *Tappi Press*, Atlanta,GA.
- Baipai, P. (2013). Recycling and Deinking of Recovered Paper, NY. 240 p.
- Baipai, P. (2018). Biermann's Handbook of Pulp and Paper: Volume 1: Raw Material and Pulp Making 3rd Ed., Elsevier, NY.668 p.
- Biermann, C. J. (1993). Essentials Of Pulping And Papermaking. *Academic Press*, New York, 472s.
- Brancato, A. A. (2008). Effect Of Progressive Recycling On Cellulose Fiber Surface Properties (Doctoral dissertation, Georgia Institute of Technology).
- Can, A., and Sivrikaya, H. (2017). Combined effects of copper and oil treatment on the properties of scots pine wood. *Drewno*, 60.
- Demir, I. (2019). Investigation of the technological properties of gypsum composites produced from some cellulosic based secondary fiber sources, Süleyman Demirel University, *Graduate School of Applied and Natural Sciences*, MSc. Thesis, (Turkish, Abstract in English) Isparta. 113 p.
- Fengel, D. and Wegener, G. (1984). Wood: chemistry, ultrastructure. *Reactions*, 613, 1960-1982.
- Hubbe, M. A., Venditti, R. A., Rojas, O. J. (2007). What happens to cellulosic fibers during papermaking and recycling? A Review. *Bioresources*, 2(4), 739-788.



- Kaya, A.I. (2015). A study of composite materials that produced from recovered fibers of recycled waste papers, Suleyman Demirel University, *Graduate School of Applied and Natural Sciences, Ph.D Thesis*, (Turkish, Abstract in English) Isparta, 239p.
- Kaya, A. I., & Sahin, H. T. (2018). The Effects of Boric Acid on Fiberboard Made from Wood/Secondary Fiber Mixtures: Part 3. Utilization of Recycled Waste Office Paper Fibers. *composites*, 6, 11.
- Minor, J. L. (1994). Hornification-its origin and meaning. *progress in paper recycling*, 3(2), 93-95.
- Ndazi, B., Tesha, J. V. and Bisanda E.T.N. (2006). Some opportunities and challenges of producing bio-composites from non-wood residues, *J. Mater Sci.*, 41,6984–6990.
- Pandey, K. K. (2005). A note on the influence of extractives on the photo-discoloration and photo-degradation of wood. *Polymer degradation and stability*, 87(2), 375-379.
- Rials, G. T. and Wolcott, M.P. (1997). Physical and mechanical properties of agro-based fibers, In: Paper and composites from agro based resources, Rowell, R.M., Young, R.A., Rowell, J.K. (Eds), *CRC Press Inc*, Boca Raton, Florida, 63-81 pp.
- Sahin, H.T. and Arslan, M.B. (2011). Weathering performance of particleboards manufactured from blends of forest residues with Red pine (*Pinus brutia*) wood. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 13(3), 337-346.
- Sahin, H.T., Arslan, M.B., Korkut, S., Kus Sahin, C. (2011). Colour changes of heat-treated woods of red-bud maple, European hophornbeam and oak. *Color Research & Application*, 36(6), 462-466.
- Sahin, H. T., Yavilioglu, I., & Yalcin, O. U. (2018). Properties of Composite Panels Produced from Cotton Waste and Red Pine Wood Mixtures. *Journal of Applied Life Sciences International*, 1-9.
- Smook, G.A. (1994). Handbook For Pulp And Paper Technologists. Angus Wilde Publications, Canada, 419s.
- Thompson, C. G. (1992). Recycled Papers: The Essential Guide: *MIT Press*.
- TS EN 13501-1. (2003). ‘Fire classification of construction products and building elements -Part 1: Classification using test data from reaction to fire tests’, (Turkish Standard), *TSE*, Ankara.
- TS EN 11925-2. (2002). ‘Reaction to fire tests - Ignitability of building products subjected to direct impingement of flame - Part 2: Single-flame source test’, (Turkish Standard), *TSE*, Ankara.
- Youngquist, J.A., English, B.E., Scharmer, R.C., Chow, P. and Shook, S.R. (1994). Literature review on use of nonwood plant fibers for building materials and panels, USDA Forest Service, *General Technical Report, FPL-GTR 80*, Madison, WI.
- Youngquist, J.A., Krzysik, A. M., Chow, P. and Meimban, R. (1997). Properties of composite panels. In: Paper and composites from Agro-based resources, R.M. Rowell, R.A. Young, J.K. Rowell, (Eds), *CRC Press Inc*, Boca Raton, Florida.
- Wistara, N., Young, R. A. (1999). Properties and treatments of pulps from recycled paper. part 1. physical and chemical properties of pulps. *Cellulose*, 6(4): 291-324.



# Örtü Altı Sebze Yetiştiriciliğinde Led Aydınlatma Sistemlerinin Bitki Gelişimine ve Verimine Etkisinin Belirlenmesi

Yılmaz Bayhan<sup>1\*</sup>, Zafer Avcı<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tekirdağ, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1999-3571)

<sup>2</sup> Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tekirdağ, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2982-2783)

(İlk Geliş Tarihi 4 Eylül 2019 ve Kabul Tarihi 20 Ekim 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.615444)

**ATIF/REFERENCE:** Bayhan, Y. & Avcı, Z. (2019). Örtü Altı Sebze Yetiştiriciliğinde Led Aydınlatma Sistemlerinin Bitki Gelişimine ve Verimine Etkisinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 86-95.

## Öz

Bu araştırmada, güneşlenme süresinin az olduğu bölgelerde ve metro gibi kapalı alanlarda LED aydınlatma sistemleri kullanılarak, örtü altında yetiştirilen yeşil aksamli bitkilerin gelişmesi üzerine olan etkisi, yetiştirilen ürünün kalite parametreleri ve verime olan etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma Tekirdağ İli, Hayrabolu İlçesi, Ergün Korkmaz Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi seralarında LED ışık kaynağı ile yetiştirilen marul, araştırmanın ana materyalini oluşturmaktadır. Denemede mavi, kırmızı ve sarı renkli LED aydınlatma sistemleri ve bu renklerin kombinasyonları kullanılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre; Farklı LED ışık kaynaklarının kullanılması sonucunda ürünler 63 günde olgunlaşmayı tamamlayarak, hasada gelme süresi kısalmıştır. Toplam bitki ağırlığı en yüksek değer 1175,12 g ile mavi+sarı+kırmızı LED uygulamasından ve en düşük değer ise 948,15 g ile mavi+sarı LED uygulamasından elde edilmiştir. Uygulanan LED aydınlatma sistemlerinin kullanıldığı denemede birim alanda en fazla 41,24 ton/ha ile mavi+sarı+kırmızı LED aydınlatma yönteminde, en düşük verim ise 28,58 ton/ha ile mavi+sarı LED aydınlatma yönteminde bulunmuştur. Farklı renkli LED ışık kaynağı uygulamalarının C vitamini yoğunluğu üzerine istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur. Bu sonuçlar neticesinde ürünler erken olgunlaştığı için pazarda yüksek fiyattan satılmasını sağlamaktadır. LED kullanımı seralarda üretilen yeşil yapraklı bitkilerde birim alanda verimi artırmaktadır. Örtü altı sebze yetiştiriciliğinde LED aydınlatma sistemlerinin enerji tüketimi az olup, diğer ışık üreteçlerinden daha ucuzdur. Güneş ışık yoğunluğunun az olduğu kış aylarında, alternatif ışık kaynağı olarak kullanılabilme olanağı mevcuttur.

**Anahtar Kelimeler:** Marul, LED, Örtü altı, Yetiştirme, Verim

## Determining the Effects of Led Lighting Systems in Greenhouse Vegetable Growing on the Growth and Yield of Plants

### Abstract

The purpose of this study is to determine the effects of LED lighting systems in places where the hours of sunshine is short and in indoor areas such as subways, on the growth of greenhouse plants, and the quality parameters of the plant as well as the effect on yield. This study has taken place at Tekirdağ Province, Hayrabolu District, Ergün Korkmaz Vocational and Technical High School greenhouse and the main material of the study is lettuce, which has been grown there. During the study, blue, red and yellow colour LED lighting systems and combinations of these colours have been used. According to the study findings; when different LEDs are used, products mature in 63 days and their harvest time is shortened. In terms of total plant weight, the highest value has been obtained from blue + yellow + red LED application by 1175.12 g, while the lowest value has been obtained from blue + yellow LED application by 948.15 g. In the trial where the LED lighting systems have been applied, the greatest productivity per unit area was in

<sup>1</sup> Sorumlu Yazar: Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tekirdağ, Türkiye, ORCID: 0000-0003-1999-3571, [ybayhan@nku.edu.tr](mailto:ybayhan@nku.edu.tr)

blue + yellow + red LED method by 41.24 ton/ha, while the lowest productivity was observed in blue + yellow LED method by 28.58 ton/ha. The effect of different coloured LED light source practises on vitamin C density has been found to be statistically non-significant. Consequently, the products mature earlier and are sold for a higher price at the market. The use of LED increases productivity per unit area in greenhouse plants. In greenhouse vegetable cultivation, LED lighting systems have low energy consumption and it is cheaper than other light generators. It is a possible alternative light source during the winter months when the sunlight density is low.

**Keywords:** Lettuce, LED, Greenhouse, Growing, Yield.

## 1. Giriş

Dünyada kullanılan tarım sahalarının azalması ve bu alanların yağmur, su, rüzgar erozyonuna uğraması, toprak taşınması, ticari faaliyetler, sahaların imarlaşması gibi dış etkenlerden dolayı tarım alanları giderek azalmaktadır. Dünya nüfusunun hızla artması ile bu alanların insanların besin ihtiyacını karşılamaya yetmeyecektir. Bu sebepten birim alandan maksimum ürün alabilme sistemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Giderek hızlı bir şekilde artan dünya nüfusunun ihtiyacı olan besin maddelerini karşılamak önemli bir problem olarak görülmektedir. Dünyanın ekilebilir alanlarını artıramayacağımızdan dolayı bu problemi birim alandan elde edilecek ürün artışı ile sağlaması mümkündür.

Türkiye’de tarım alanlarının %40.58’ini tahıllar ve diğer bitkisel ürünler, %10.55’i nadasa bırakılan topraklar %2.10’u sebze bahçeleri, %0.01’i süs bitkileri, %8.67’sini uzun ömürlü bitkiler ve %38.08’ini de çayır meralar oluşturmaktadır (Anonim, 2018).

TÜİK 2017 verilerine göre toplam örtü altı üretim yapılan alan 752000 dekadır. Bu alandaki üretimimizin %94’ü sebze, %6’sı meyve üretiminden oluşmaktadır. Domates % 49 üretim payı ile 1. sırada yer almakta, bunu %14 ile hıyar, %10 ile karpuz izlemektedir. Bunların yanında 185000 ton kıvrıcık marul 223000 ton göbekli marul ve 82000 ton iceberg marul üretimi yapılmıştır (Anonim, 2017).

Örtü altı yetiştiriciliğindeki en büyük problem daimi üretim sonucu gün yüzüne çıkan yorgunluktur. Örtü altının yağış almamasından, sera bitkilerinin yaşam fazlalığından kaynaklı, bitki artıklarının yok edilmesi, mikrobiyal oluşumun az olması sebebiyle kimyasal ve organik gübre kullanımını artırmaktadır (Bayraktar, 1970). Bu sebeple örtü altı yetiştiriciliğinde topraksız tarıma geçiş hızlı olmuştur.

Topraksız tarım geleneksel yöntemdeki topraktan kaynaklanan hastalıklar ve zararlılar gibi etmenlerden kaynaklanan kaliteyi düşürücü sebepleri ortadan kaldırmaktadır ve ürün verimini artırmaktadır (Jones, 1983). Toprak olmadan üretim ve ürün yetiştiriciliği bilhassa küçük alanlarda gelişmiştir. Sebze ve süs bitkileri tarımında kullanılmaktadır. Toprak olmadan üretim destek sistemi ve besin karışımı ile yapılan yetiştiricilik türüdür (Varış, 1991).

Bitkilerin gelişiminde büyüme etkileyen etmen ışıktır. Bitki bünyesindeki enerji olaylarını da yönetir (Wassink & Stolwijk, 1956). Sebzelerin üretiminde örtü altında kullanılmak üzere yapay ışık kaynakları gündeme gelmiştir. Güneşin aydınlatmadığı bir ortamda yapılan ek ışıklandırmanın sebze gelişimine ve hasat olgunluğuna gelmesinde etkili olan parametreleri bulmuşlardır.

Işık yayan diyot (LED: Light Emitting Diode) teknolojisinin yeni tip yarı iletken malzemelerin ortaya çıkmasıyla sürekli şekilde gelişmesi, aydınlatmanın bitki büyümesi ve gelişimi de dahil olmak üzere giderek artan sayıda yeni alanlarda uygulanmasını mümkün kılmıştır. Son yıllarda, geleneksel aydınlatma sistemlerine alternatif olarak, LED’in bitki morfogenezi için mükemmel bir yapay akıllı aydınlatma kaynağı olduğu kanıtlanmıştır. LED aydınlatma çiçekler, sebzeler, meyveler, aşılınmış fideler, mikro yeşillikler, algler, tıbbi ve aromatik vb. bitkilerin üretilmesinde kullanılmakta ve önemli faydalar sunmaktadır (Çağlayan & Ertekin 2011).

Güneş ışınlarının az olduğu yerlerde veya hiç olmadığı yerlerde, avantajlarından ötürü LED diyotlarının kullanılması artmaktadır. LED diyotlar, uzun ömürlü ve elektrik tüketiminde az enerji harcaması nedeniyle dünyada ve Türkiye’de kullanımı yaygın olarak artmaktadır.

Işık; bitkilerin büyüme ve gelişmelerinde önemli rol oynayan, tohumların çimlenmesinden, bitkilerin ölümüne kadar geçen süreç içerisinde önemli ve farklı düzeylerde etkili olan çevresel faktörlerden biridir. Bitkisel üretimde güneş enerjisinin yeterli olmadığı durumlarda ve güneş ışığı olmayan yetiştirme kabinlerinde yapay ışık kaynaklarının kullanımı yaygınlaşmaktadır.

Işık kaynakları bitki büyümesini teşvik etmek, kalite ve verimde homojenlik sağlamak, bitkilerin vejetatif ve generatif dönemlerinde fotoperiyot zamanlarını ayarlamak, bitkilerin morfolojik ve fitokimyasal olaylarını düzenlemek gibi farklı amaçla kullanılabilirlerdir.

LED lambalar kullanım ömrünün uzun olması, ışık ve enerji verimliliğinin yüksek, ısı oluşumunun düşük olması sebebi ile yapay aydınlatmada önemli rol oynamaktadır. LED lambaların morötesinden (UV) kızılötesine (infrared) kadar uzanan ve görünür ışık bölgesini de kapsayan geniş bir aralıkta üretimi bulunduğundan dolayı araştırmalar için de oldukça iyi olanaklar sunmaktadır.

Özellikle ışığın azaldığı güneşli gün sayısının düştüğü soğuk aylarda güneş batarken ve yokken uygulanan alternatif ışıklandırmanın ürün gelişiminde etkisi olduğu bilinmektedir. Örtü altı sebze yetiştiriciliğinde rekolteyi arttırmak için sertifikalı tohum kullanımı, temiz sulama, bitki besleme, mekanizasyondan yararlanma gibi etmenlerin dışında seracılıkta topraksız tarım ve alternatif enerji kaynaklarının kullanımı önem taşımaktadır.

Bu bilgiler ışığında örtü altı yetiştiriciliğinde yaygın olarak üretilen marul bitkisi, üretiminde LED aydınlatma desteği sağlandığında, gelişim oranlarında değişiklikler olacaktır. Bu hipoteze dayanarak yürütülen bu çalışmanın amacı marul yetiştiriciliğinde LED aydınlatmanın marul bitkisi gelişimi ve özellikle vejetatif ve generatif özelliklerine nasıl etki ettiğinin tespiti ve değerlendirmesidir.

## 2. Materyal ve Metot

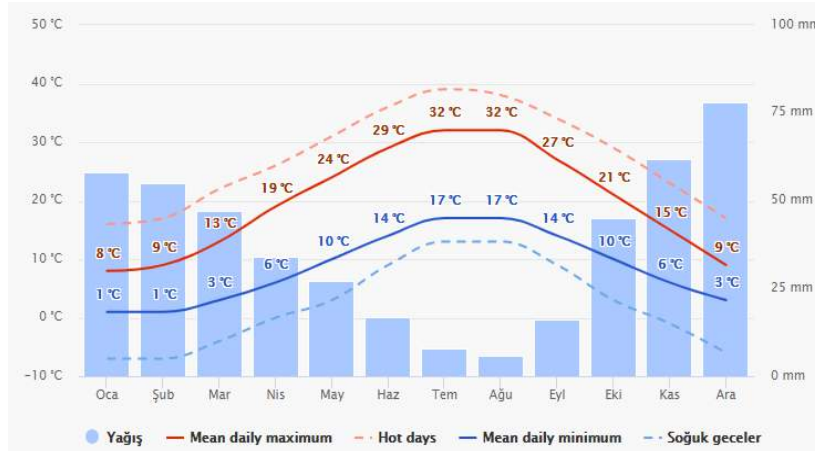
### 2.1. Materyal

Bu araştırma Tekirdağ İli, Hayrabolu İlçesinde bulunan Ergün Korkmaz Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi Tarım atölyesinde ve okul araştırma alanında bulunan polietilen serada 2017-2019 yılları arasında yürütülmüştür. Marul yetiştiriciliğinde vejetatif ve generatif özelliklerin nasıl değişim gösterdiği irdelenmiştir.

#### 2.1.1. Tekirdağ İli Hayrabolu İlçesinin Coğrafik Konumu ve İklim Verileri

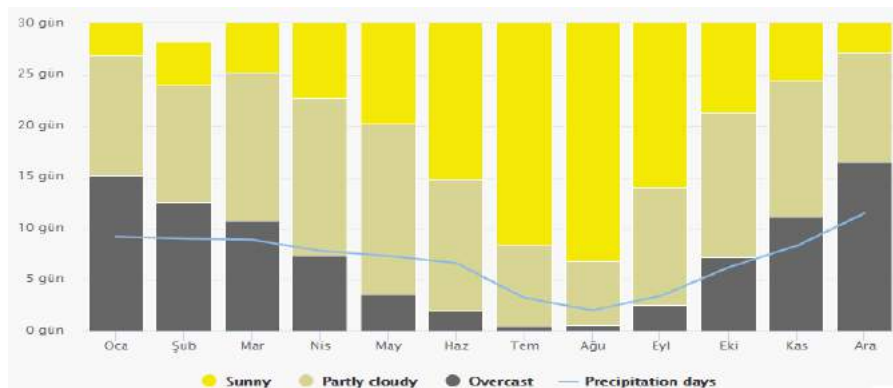
Hayrabolu ilçesi Tekirdağ il sınırları içerisinde olup  $41^{\circ} 12' 47''$  kuzey ile  $27^{\circ} 6' 24''$  ile doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Hayrabolu ilçesi deniz seviyesinden yüksekliği 60 metredir.

Marmara ve Meriç havzalarında bulunan Tekirdağ ili Hayrabolu ilçesi nemlilik indekslerine göre yarı nemli iklim özelliğine sahiptir. Hayrabolu ilçesinde karasal iklim egemendir, ilçede günlük sıcaklık farkı fazladır. İlçede yaygın olarak yapılmakta olan ürünlerin isteklerine uygun bir yağış rejimi vardır. Tekirdağ Meteoroloji Müdürlüğünden alınan bazı iklim verileri Şekil 1'de açıklandığı gibi ortalama günlük maksimum grafiği (koyu kırmızı çizgi) her ay için ve Hayrabolu için ortalama bir günün maksimum sıcaklığını gösterir. Aynı şekilde ortalama günlük minimum grafiği (koyu mavi çizgi) ortalama minimum sıcaklığı gösterir. Sıcak günler ve soğuk geceler (kesikli kırmızı ve mavi çizgiler) son otuz yıldır her ayın en sıcak ve en soğuk gecelerinin ortalamasını göstermektedir (Anonim, 2019).



Şekil 1. Hayrabolu ilçesinin 2018 yılı (ortalama sıcaklık ve yağış) iklim verileri (Anonim, 2019)

Hayrabolu İlçesinin aylık güneşli, parçalı bulutlu, bulutlu ve yağışlı gün sayısı Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2'de görüldüğü %20 den az bulutlu günler güneşli olarak, %20-%80 arasındaki günler parçalı bulutlu olarak ve %80'den fazla olan günler kapalı olarak kabul edilir (Anonim, 2019).



Şekil 2. Hayrabolu İlçesinin 2018 yılı (bulutlu güneşli ve yağışlı) iklim verileri (Anonim, 2019)

### 2.1.2. Araştırmada Kullanılan Marul Bitkisinin Özellikleri

Araştırmada bitkisel materyal olarak, Türkiye’de en çok yetiştirilen tür olan (*Lactuca sativa L. var crispa.*) çeşiti seçilmiştir. Bu marul cinsi Türkiye’de her dönem yetiştiriciliği yapılabilen ve randımanlı gelişimine olanak sağlayan bir türdür. Bu sebze türü ortam koşullarına uyum sağlamakta, açık yeşil aksamı dayanıklı bir çeşittir. Pazarda albenisi yüksek ve cezb edicidir. Yeşil aksamı fazladır ve büyüktür. Yaprak kenarları kıvrıktır. Sapa kalkmada mukavemeti yüksektir. Yapısında esneklik sağlayan genler bulunur. Tüketim esnasında kırılma ve parçalanma yapmaz. Raf ömrünü uzun zaman diliminde koruyabilir. Kıvrık yaprak yanıklığı görülmez. Su dolu bir bitki bünyesine sahiptir ve lezizdir. Örtü altı yüksek tip tünel yetiştiriciliğine uygundur ( Anonim, 2014).

### 2.1.3. Yüksek Tünel Seranın Özellikleri

Yüksek tünel doğu-batı yönünde kurulmuş, üzeri 36 aylık polietilen örtü ile kaplanmıştır. Yüksek tünel 15 metre boyunda, 6 metre eninde, yan yükseklikler 2,2 metre ve orta çatı yüksekliği ise 3 metre olarak kurulmuştur.

### 2.1.4. Prototip Tünel Seranın Özellikleri

Marul yetiştirmek için yapılan prototip sera 1 metre boyunda, 0,5 metre eninde ve 0,5 metre yüksekliğinde alüminyum çıta ve polietilen şeffaf sert malzemeden yapılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Prototip seranın görünümü

### 2.1.5. LED Işık Kaynaklarının Özellikleri

Araştırmada kullanılan üç çeşit ana renk (mavi, kırmızı ve sarı) SMD şerit LED 12 voltluk akım ile çalışan diyottan faydalanılmıştır. Fotosentez faaliyeti için klorofil içeren bitkiler 450 nm dalga boyundaki mavi ve 650 nm dalga boyundaki kırmızı ışıklardan yararlanırlar. Kullanılan diyotların dalga boyları fotosentez faaliyeti için en yüksek verimliliğe sahiptir. Bu renklerin teknik özellikleri kırmızı LED in dalga boyu (625 nm-740 nm), sarı LED in dalga boyu (565 nm-690 nm), mavi LED in dalga boyu (440 nm-485 nm) değerlerindedir.

### 2.1.6. Besin Çözeltisi ve Hazırlanması

Bitkilere topraksız kültürde gerekli olan besin element çözeltisi Çizelge 1’deki gibi oluşturulmuştur. Çözeltinin pH’ı 5,6-6,0 aralığında ve EC değeri 1.88-2.21 mmhos/cm arasında sabit tutulmaya çalışılmıştır. Çözeltinin asitlik seviyesini dengelemek için nitrik asit takviyesi yapılmıştır.

Çizelge 1. Araştırmada kullanılan besin çözeltisinin içeriği\* (mg/l)

Element	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo
Doz (mg/l)	230	60	200	250	36*	5	0,5	0,05	0,5	0,03	0,02

\*Kaynak: Resh, 1991; Kahraman, 1997; Gül ve ark., 2005

### 2.1.6. Araştırmada Kullanılan Malzemeler

**Yapay Işık Kaynağı:** Araştırmada kullanılan üç çeşit ana renk (mavi, kırmızı ve sarı) SMD şerit LED fotondan yararlanılmıştır. Şerit LED’ler çoğunlukla esnek PCB üzerine SMD tipi (Katı reçine içinde kapsüllenmiş ve yüzeysel olarak monte edilmiş) LED’ler ile birlikte 12V gerilimde çalışmasına uygun akım limitleyici dirençlere sahiptir. Bu sayede basit bir 12V trafo, araba aküsü, LiPo (LityumPolimer) batarya gibi güç kaynakları ile kolay bir şekilde çalıştırılabilirler. (Şekil 4).





Şekil 4. Yapay ışık ile ilgili SMD LED

**Substrat:** Bitki büyütme sahasını olarak örtü altı topraksız tarımında sıklıkla kullanılan hindistan cevizi torfu ve perlit aynı oranda karıştırılarak hazırlanır.

**Cocopeat:** Hindistan cevizinin dış yüzeyinden elde edilmektedir. Dünyada örtü altı yetiştiriciliğinde ve peyzaj bitkisi yetiştiriciliğinde kullanılmaya başlanmıştır. Yeşil doğaya olumsuz etkileri yoktur. Bu malzeme nem tutucudur. Aynı zamanda bol miktarda havalanabilme kapasitesindedir. Organik madde bakımından zengindir. Köklerin aktif büyümesinde rol oynamaktadır ve patojen barındırmamaktadır. Türkiye'ye Afrika'dan ithal edilmektedir (Usluer, 2008).

**Perlit:** Sillisten oluşan magmatik malzeme olup, yer altından çıkarılan bu malzeme ufalanır ve parçalanır. Sonra 900-1000 °C'de fırınlarda yakılır, bu derecelerde içerisindeki su genişler ve patlar böylece patlamış mısıra benzer. Silis küreciklerinin hacmi 20 kata kadar artar, perlitli oluşturan kürelerin rengi beyazdır ve yüksüz taneciklidir (pH 6.5 – 7.5). Perlit blokları içerisinde atmosfer gazı kabarcıkları yer alır, taneciklerin üzerleri ufak çukurlarla kaplı olup, nem barındırma kabiliyeti maksimum düzeydedir (Sevgican, 1999).

**Sulama Sistemi:** Prototip sera ve yüksek tünel sera damla sulama sistemi ile sulanmaktadır. Sulama tankı 20 litre kapasiteye sahip olup, bitki için gerekli olan bitki besin elementleri damla sulama sistemi yardımı ile verilmektedir. Sulama tankı kapasitesi ise 400 litre olup seranın iç kısmının köşesine monte edilmiştir. Serayı sulamada suyun akışını sağlamak için akvaryum motoru, suyun filtresi için PVC filtre ve saksıların baş kısımlarına ana boru montesi yapılmıştır. Her bir saksıya 2 adet damla deliği bitkilere denk gelecek biçimde üst kısımlara yerleştirilmiştir.

### 2.1.7. Araştırmada Kullanılan Ölçüm Cihazları

Araştırmada, ağırlık ölçümünde elektronik terazi, renk ölçümünde spektrometre, Ph ölçümünde Phmetre, kuru madde tayininde refraktometre, klorofil ölçümünde klorofilmetre ve ışık ölçmek için lüxmetre kullanılmıştır.

## 2.2. Yöntem

### 2.2.1. Yüksek Tünel Seraya ve Prototip Seraya LED Işıkların Yerleştirilmesi

Yüksek Tünel ve prototip serada deneme parsellerinin sıra üzerine üç sıra şeklinde LED ışıkları monte edilmiş olup, her bir sıra yüksek tünelde 10 metre uzunluğunda ve prototip serada ise 1 metre uzunluğundadır. Kullanılan kırmızı, sarı ve mavi LED ışıkları toprak üzerinden itibaren 0,5 metre yüksekliğe konumlandırılmıştır. Yüksek tünel serada her bir parselde kullanılan toplam şerit LED uzunluğu 30 metre, prototip serada ise toplam LED uzunluğu 9 metredir. Marul fideleri saksılara dikiminin LED'ler saydam asma tavan bloklarına şeritler halinde yapıştırılmıştır ve bloklar sera üst kirişlerine balya ipi ile asılmıştır LED şeritler hiç kapatılmadan gece ve gündüz çalıştırılmıştır.

### 2.2.2. Protatip Sera Bitki Büyütme Ünitelerinin Hazırlanması ve Yüksek Tünel Sera Zeminin Hazırlanması

Seranın içerisi temizlenerek toprak yüzeyi siyah malç ile kaplanarak saksıların toprakla bağlantıları kesilmiştir. Araştırmada kullanılan saksıların tabanında iki adet delik (1.5 cm) açılmış ve deliklerden gelen çözelti sayesinde bitkiler beslenmektedir. Saksılar birbirlerine 1m mesafe olacak şekilde 12 adet saksı dizilmiştir. Her bir sıranın sonundaki saksılar elimine edilerek köşe tesiri ortadan kaldırılmıştır. Her bir sıradaki saksılar içerisine Hindistan cevizi torfu ile perlit aynı oranda karıştırılarak bitki ortamı hazırlanmıştır.

### 2.2.3. Dikim, Bakım ve Hasat İşlemleri

Bir saksıya üç bitki gelecek ve her bir parselde dokuz bitki gelecek şekilde dikimi yapılmıştır. Bitki gelişimi için tüm besin elementleri damla sulama sistemi ile yapılmıştır. Elektro motor ve akıllı saat yardımı ile günde bir kez 15 dakika çalıştırılmıştır. Tüm parsellerde bakım işleri aynı şekilde yapılmıştır. Marullar büyüklüğüne göre ve olgunlaşma durumu göz önüne alınarak 14 Nisan 2018 tarihinde tüm parseller hasat edilmiştir. Hasata gelme süresi bitkilerin dikiminden itibaren, deneme parsellerindeki bitkilerin tamamı 65. günde hasat iriliğine ulaştıkları için hasat edilmişlerdir.

### 2.2.4. Marulun Özelliklerinin Belirlenmesi

**Hasada Gelme Süresi:** Fidelerin dikiminin yapıldığı gün ile hasat edilen gün arasındaki gün farkı hasada gelme süresi olarak kabul edilmiştir.

**Toplam Bitki Ağırlığı:** Hasat olgunluğuna gelmiş bitkiler parsellerden sökülerek, köklerdeki topraklar ve yabancı maddeler temizlenerek tartımları  $\pm 0,1$  g duyarlıdaki terazi ile yapılmıştır (Gül ve ark, 2005).

**Pazarlanabilir Yaprak Ağırlığı:** Hasat olgunluğuna gelmiş bitkiler ilk yaprakları ayıklandıktan sonra kökleri kesilerek kalan bitkinin tartımları  $\pm 0,1$  g duyarlıtaki terazi ile yapılmıştır.

**Pazarlanabilir Yaprak Sayısı:** Temizlenmiş bitkiler yapraklara ayrılarak bitkideki toplam yaprak sayısı (adet/bitki) bulunmuştur (Altintas & Candar, 2012).

**Toplam Yaprak Sayısı:** Hasat edilen bitki yapraklarının tamamı (sararmış, çürümüş vs) bitkiden ayrılarak bitkideki bütün yaprak sayısı (adet/bitki) hesaplanmıştır (Altintas & Candar, 2012).

**Pazarlanabilir Verim:** Her bir parselde hasat edilen bitkiler temizlenerek pazara sunulan şekliyle  $\pm 0,1$  g duyarlıtaki terazi ile tartımları yapılarak, birim alandaki verimi (ton/ha) hesaplanmıştır (Altintas & Candar, 2012).

### 2.2.5. Deneme Deseni ve İstatistik Analiz

Araştırmada elde edilen sonuçların arasındaki farkı belirlemek için SPSS paket programında istatistiksel analizler yapılmıştır. İstatistiksel olarak önemli bulunan parametrelerin karşılaştırılmasında, denemede elde edilen verilerin değerlendirilmesi ve varyans analizlerinde (ANOVA) SPSS (Version 12.00; Chicago, IL, USA) istatistik yazılımı kullanılmıştır. Ortalamaların karşılaştırılması Duncan testine göre  $p \leq 0,05$  düzeyinde yapılmıştır (Düzgüneş ve ark,1987; Eliçin ve ark, 2018).

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu araştırmada farklı renkteki LED ışık kaynakları, kombinasyonlarının klorofil miktarı, bitkinin ağırlığı, baş ağırlığı, pazarlanabilir yaprak sayısı, toplam yaprak sayısı, pazarlanabilir verim, C vitamini, pH ve yaprak rengi değerleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Farklı renkli LED ışık kaynağı uygulamalarının bitki verim özellikleri üzerine etkisi

LED	Tek.	Klorofil Miktarı	ORT.	Bitki Ağırlığı (g)	ORT.	Baş Ağırlığı (g)	ORT.	Pazarlanabilir Yaprak Sayısı	ORT.	Toplam Yaprak Sayısı	ORT.	Pazarlanabilir Verim	ORT.
kırmızı	1	10,40		971,04		820,00		39,00		43,00		31,12	
	2	10,25	10,33 <sup>c</sup>	931,08	950,04 <sup>c</sup>	810,00	816,00 <sup>e</sup>	43,00	40,00 <sup>d</sup>	45,00	44,67 <sup>d</sup>	33,06	32,39 <sup>c</sup>
	3	10,35		948,00		818,00		38,00		46,00		33,00	
mavi	1	11,85		1048,58		901,00		43,00		49,00		38,85	
	2	12,01	11,92 <sup>a</sup>	1095,57	1063,24 <sup>b</sup>	895,00	898,00 <sup>c</sup>	46,00	45,33 <sup>abc</sup>	51,00	50,00 <sup>ab</sup>	33,45	35,98 <sup>b</sup>
	3	11,90		1045,56		898,00		47,00		50,00		35,65	
mavi+kırmızı	1	9,24		1061,12		954,00		48,00		49,00		37,45	
	2	9,30	9,27 <sup>d</sup>	1085,14	1074,80 <sup>b</sup>	955,00	953,67 <sup>b</sup>	44,00	46,00 <sup>ab</sup>	45,00	48,67 <sup>bc</sup>	38,35	36,40 <sup>b</sup>
	3	9,26		1078,13		952,00		46,00		52,00		33,40	
mavi+sarı	1	9,24		930,47		748,00		40,00		45,00		29,42	
	2	9,28	9,28 <sup>d</sup>	960,49	948,15 <sup>c</sup>	765,00	754,33 <sup>g</sup>	39,00	40,67 <sup>cd</sup>	43,00	44,33 <sup>d</sup>	30,21	28,58 <sup>d</sup>
	3	9,32		953,48		750,00		43,00		45,00		26,10	
m+s+k	1	10,80		1100,11		1051,00		49,00		52,00		42,22	
	2	11,15	10,95 <sup>b</sup>	1220,13,	1175,12 <sup>a</sup>	1060,00	1052,00 <sup>f</sup>	53,00	49,67 <sup>a</sup>	51,00	53,00 <sup>a</sup>	40,26	41,24 <sup>a</sup>
	3	10,90		1250,12		1045,00		47,00		56,00		41,24	
sarı	1	9,80		1000,58		860,00		40,00		45,00		32,71	
	2	10,50	10,07 <sup>c</sup>	950,57	990,57 <sup>c</sup>	855,00	861,67 <sup>d</sup>	43,00	42,00 <sup>bcd</sup>	45,00	46,00 <sup>cd</sup>	34,91	33,81 <sup>bc</sup>
	3	9,90		1020,56		870,00		43,00		48,00		33,81	
sarı+ kırmızı	1	9,20		950,60		772,00		38,00		45,00		31,10	
	2	9,35	9,30 <sup>d</sup>	940,61	950,61 <sup>c</sup>	750,00	771,67 <sup>f</sup>	45,00	41,00 <sup>bcd</sup>	43,00	45,00 <sup>cd</sup>	30,00	30,97 <sup>cd</sup>
	3	9,36		960,62		793,00		40,00		47,00		31,80	
kontrol	1	10,10		1040,81		885,00		48,00		48,00		37,65	
	2	10,25	10,22 <sup>c</sup>	1030,83	1060,82 <sup>b</sup>	889,00	889,33 <sup>c</sup>	41,00	44,67 <sup>bcd</sup>	46,00	47,67 <sup>bcd</sup>	34,50	35,88 <sup>b</sup>
	3	10,30		1110,82		894,00		45,00		49,00		35,50	

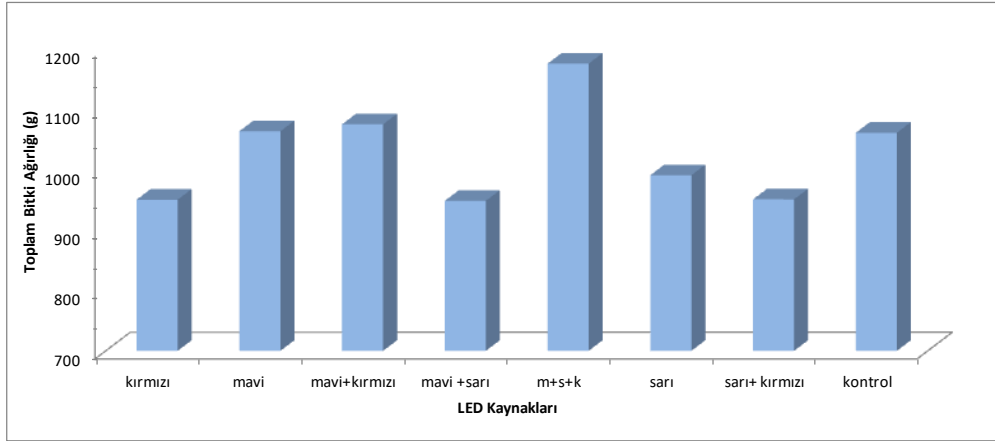
\*Ortalamalar %5 düzeyinde Duncun testi uygulanmıştır ve aynı harfi taşıyan ortalamalar aynı gruba girmektedir.

### 3.1. Hasada Gelme Süresi

Denemeye alınan bitkiler yetiştirme süresi boyunca farklı renklerdeki LED uygulamalarına maruz bırakılmıştır. Bunun etkisi ilk olarak hasat süresinin kısalmasıyla görülmüştür. Tüm parsellerde hasat süresi 63 gün olarak belirlenmiş ve hasata başlanmıştır. Ancak bazı araştırmacılar LED uygulaması olmadan yaptıkları çalışmalarda farklı süreler tespit etmişlerdir. Thompson ve Kelly (1957) hasat süresini 70-150 gün, Karataş (2011) 106-124 gün olarak bulmuşlardır. Yapılan çalışmada ürünün hasada gelme süresi Thompson ve Kelly (1957) 70-80 gün, Karataş (2011) 43-61 gün daha erken olmuştur. Diğer bir ifadeyle LED kullanımı vejetasyon süresini kısaltmaktadır.

### 3.2. Toplam Bitki Ağırlığı

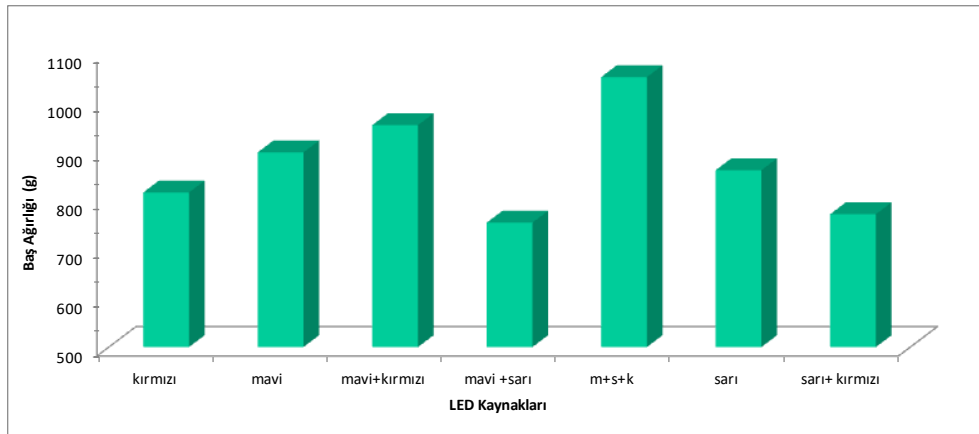
Denemelerde kullanılan farklı renk ve kombinasyonlarında ki LED lerin toplam ortalama bitki ağırlığı istatistiki olarak önemli bulunmuştur ( $F=11.715^{**}$ ). Bitki toplam ağırlığı en fazla 1175,12 g ile kırmızı+sarı+mavi LED ile aydınlatma yönteminde ve en ise 948,15 g ile mavi+sarı LED aydınlatma yönteminde saptanmıştır (Şekil 5). Gül ve ark, (2005)'e göre marul yetiştiriciliğinde toplam bitki ağırlığını 447,8 g ile 683,7 g arasında saptamış; Koudela & Petrikova (2008) ise bitki ağırlığının 190-463g arasında bulmuşlardır. Buna göre bu araştırmada saptanan ağırlıklar daha önce yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında daha yüksek bulunmuştur. Bitki ağırlıklarının sonuçları literatüre göre daha fazla %71.88 oranında fazla belirlenmiştir.



Şekil 5. Değişik dalga boylarının marul ağırlığı üzerine etkisi

### 3.3. Pazarlanabilir Baş Ağırlığı

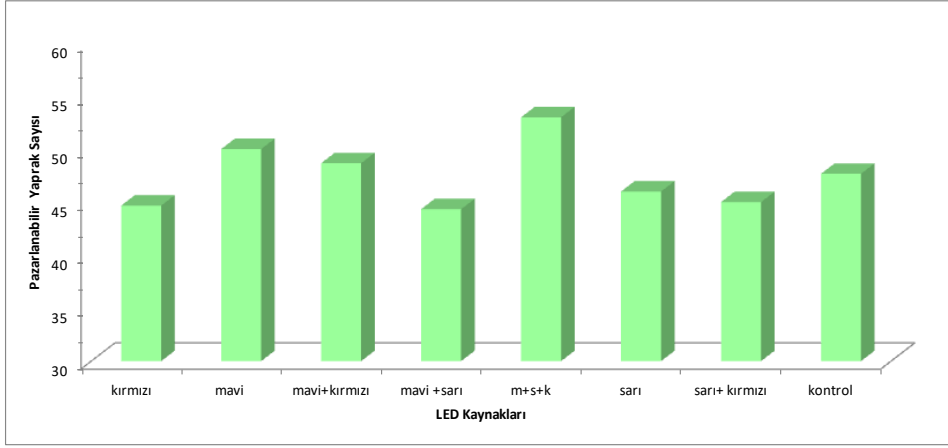
Pazarlanabilir ortalama baş ağırlığına LED ışıklarının etkisi istatistiki olarak önemli bulunmuştur ( $F=318,13^{**}$ ). Taşıma sonuçlarına göre en fazla pazarlanabilir baş ağırlığı üçlü ana renk (kırmızı+mavi+sarı) LED aydınlatma yönteminde 1052,1 g olarak saptanmıştır. En az kütleli pazarlanabilir baş ise 754,33 g ile sarı+mavi LED aydınlatma yönteminde bulunmuştur (Şekil 6). Koudela ve Petrikova (2008)'e göre marul baş ağırlığı arasındaki farkın önemli olduğu ve baş ağırlığının 190-463 g arasında değiştiğini bulmuşlardır. Benzer bir çalışmada Gül ve ark, (2005)'e göre baş ağırlığının örtü altı yetiştirme ortamına ve yetiştirme mevsimine bağlı olarak 433,0 g ile 683,7 g arasında değiştiğini belirtmektedirler. Elde edilen pazarlanabilir baş ağırlıkları literatüre göre daha yüksek (%53.88) bulunmuştur.



Şekil 6. Marulun pazarlanabilir baş ağırlığı

### 3.4. Pazarlanabilir Yaprak Sayısı

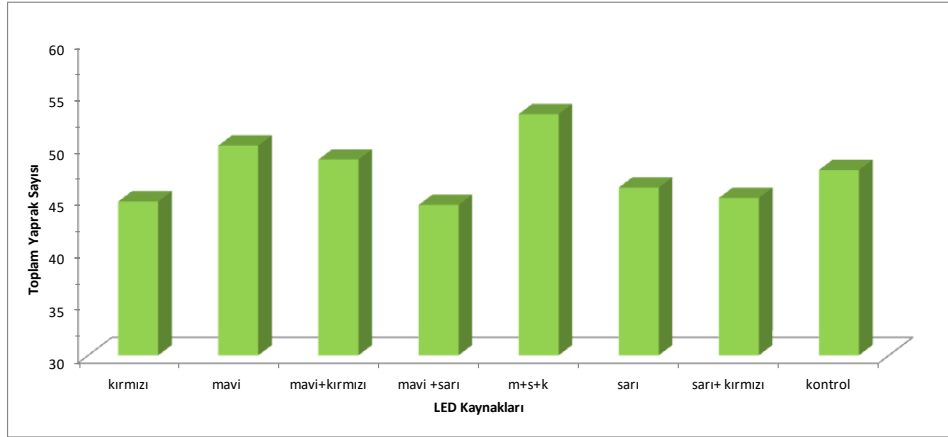
Diyot kullanımının pazarlanabilir yaprak üzerine etkisi istatistikî olarak fark önemli bulunmuştur ( $F=4.638^{**}$ ). En yüksek pazarlanabilir yaprak sayısı mavi+sarı+kırmızı LED aydınlatma yönteminde 49,67 adet/bitki olarak saptanmıştır. En düşük pazarlanabilir yaprak sayısı kırmızı LED ışığında ise 40 adet/bitki olarak bulunmuştur (Şekil 7).



Şekil 7. Değişik diyotların pazarlanabilir yaprak sayısına etkisi

### 3.5. Toplam Yaprak Sayısı

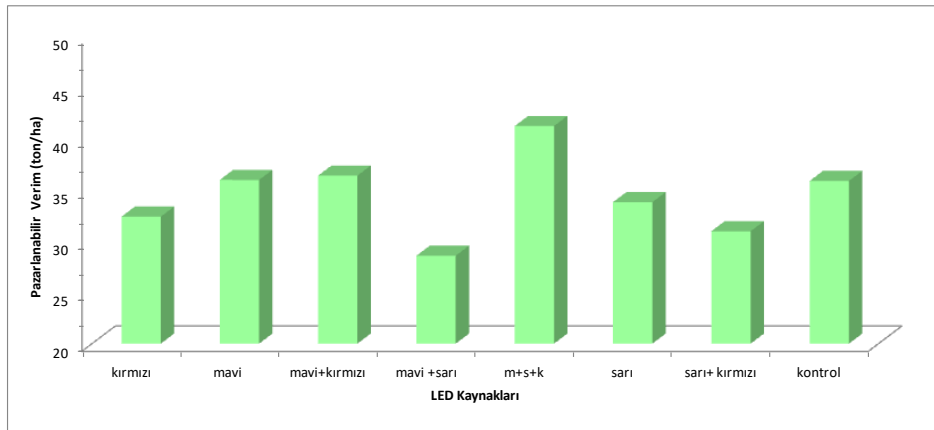
Farklı LED aydınlatma yönteminin toplam yaprak sayısı arasındaki ilişki istatistiki açıdan önemli çıkmıştır. ( $F=6,623^{**}$ ). Uygulanan ışık kaynaklarının toplam yaprak sayısına olan etkisi Şekil 8’de verilmiştir. Şekil 8’de görüldüğü gibi, bir bitkide en az toplam yaprak sayısı 44,33 adet ile kırmızı LED aydınlatma yönteminde ve en fazla yaprak sayısı ise 53,00 adet ile mavi+sarı+kırmızı LED aydınlatma yönteminde saptanmıştır.



Şekil 8. LED ışıkların toplam yaprak sayısına etkisi

### 3.6. Pazarlanabilir Verim

Değişik LED aydınlatma yönteminde elde edilen pazarlanabilir verim değerlerinin istatistiki analizi sonucunda önemli bir fark elde edilmiştir ( $F=13,983^{**}$ ). Değişik uygulanan LED aydınlatma yöntemlerinde en yüksek verim 41,24 ton/ha ile kırmızı+mavi+sarı LED ışık uygulanan parselde bulunurken, en az verim 30,97 ton/ha ile sarı+mavi LED aydınlatma yönteminde saptanmıştır (Şekil 9).



Şekil 9. LED ışıkların pazarlanabilir verim arasındaki ilişki

## 4. Sonuç ve Öneriler

Bu araştırmada, güneşlenme süresinin az olduğu bölgelerde ve metro gibi kapalı alanlarda LED aydınlatma sistemleri kullanılarak, örtü altında yetiştirilen yeşil aksamli bitkilerin gelişmesi üzerine olan etkisinin belirlenmesinde farklı LED ışığının kullanılması sonucunda elde edilen sonuçlar özet olarak aşağıda verilmiştir.

Farklı LED ışık kaynaklarının kullanılması sonucunda ürünler 63 günde olgulaşmayı tamamlayarak, hasada gelme süresi kısalmıştır. Toplam bitki ağırlığı en yüksek değer 1175,12 g ile mavi+sarı+kırmızı LED uygulamasından ve en düşük değer ise 948,15 g ile mavi+sarı LED uygulamasından elde edilmiştir. Pazarlanabilir baş ağırlığına mavi+sarı+kırmızı LED ışık uygulanan yöntemde 1.052,00 g olarak saptanmıştır. En düşük pazarlanabilir baş ağırlığı ise 754,33 g ile mavi+sarı LED ışık uygulanan parselde bulunmuştur. Bir marulda pazarlanabilir yaprak sayısı en fazla 49,67 adet ile mavi+sarı+kırmızı LED ışık uygulamasında ve en düşük pazarlanabilir yaprak sayısı ise 40 adet ile kırmızı LED ışık uygulanan yöntemde belirlenmiştir. Bitki başına yaprak sayısı en düşük toplam yaprak sayısı 44,33 adet ile kırmızı LED ışık uygulanan yöntemde ve en fazla yaprak sayısı ise 53,00 adet ile mavi+sarı+kırmızı LED ışık uygulanan yöntemde elde edilmiştir. LED aydınlatma sistemlerinin kullanıldığı denemede birim alanda en fazla 41,24 ton/ha ile mavi+sarı+kırmızı LED ışık uygulanan yöntemde, en düşük verim ise 28,58 ton/ha ile mavi+sarı LED ışık uygulanan parselden elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda LED ışık kaynağının kullanılması durumunda sağladığı avantajlar;

- Ürünler erken olgunlaştığı için pazarda yüksek fiyatta satılmasını sağlamaktadır.
- Birim alanda elde edilen ürün miktarını arttırmaktadır.
- Örtü altı sebze yetiştiriciliğinde LED aydınlatmada sistemlerinin enerji tüketimi az olup, diğer ışık üreteçlerinden ucuzdur.
- Birim alanda az yer kaplamaktadır.
- Güneşin bütün dalga boyundaki ışınlarını taklit etme yeteneğine sahiptir.
- Mikrobiyal faaliyeti mor ötesi ve kızılötesi ışınlarından kaynaklı etmenleri minimuma indirmektedir.
- Güneş ışık yoğunluğunun az olduğu kış aylarında, ek ışık kaynağı olarak kullanılabilir.

LED ışık kaynağının kullanılması durumunda sağladığı dezavantajlar;

- Koruyucu UV gözlük kullanılmadığı zaman, gözlerde bozukluklara sebebiyet verebilir.
- Korunaksız örtü yetiştiriciliğinde tüm böceklerin üretim ortamına yönlendirilmesinde etkili olmaktadır. Bu da seraların giriş ve çıkış kapılarının çift yapılması gerektirerek maliyeti arttırmaktadır.

## Kaynakça

- Altıntaş, S., & Candar, S., 2012. Relations between growth, N level, NH<sub>4</sub>-N ratio of fertilizer, climatic variables, harvest time and tipburn of cos lettuce grown under the cold glasshouse. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 10 (3&4 ), 368-373.
- Anonim, 2014. <http://www.tarimtedarik.com/urun/funly-marul-fidesi-kivircik.aspx> (15.07.2014)
- Anonim, 2017. TÜİK Verileri <http://tuikapp.tuik.gov.tr/bitkiselapp/bitkisel-uretim-istatistikleri> Erişim Tarihi: 01.07.2018
- Anonim, 2018. TÜİK Verileri <http://tuikapp.tuik.gov.tr/bitkiselapp/bitkisel/zul-erisim-tarihi-20.05.2018>
- Anonim, 2019. İklimHayrabolu. [https://www.meteoblue.com/tr/hava/tahmin/modelclimate/hayrabolu\\_t%C3%BCrkiye\\_745697](https://www.meteoblue.com/tr/hava/tahmin/modelclimate/hayrabolu_t%C3%BCrkiye_745697) (erişim tarihi, 11.01.2018).
- Bayraktar, K., 1970. Sebze Yetiştirme 'Kültür Sebzeleri'. E.Ü.Zir.Fak., Cilt 2, Yayın No: 169, İzmir
- Çağlayan, N. & Ertekin, C., 2011. Bitkisel Üretim için LED Yetiştirme Lambalarının Kullanımı. Uluslar arası Katılımlı I.Ali Numan Kıraç Tarım Kongresi ve Fuar, 27-30 Nisan, 2011, Eskişehir.
- Düzgüneş O., Kesici, T., & Gürbüz, F., 1987. İstatistik Metodları-1. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Yayın No: 861, Ders Kitabı: 229, Ankara.
- Eliçin, A.K., Pekitkan, F.G., Bayhan, Y., & Sessiz, A., 2018. Effects of Tillage Methods on Weed Density in Corn (*Zea Mays* L.) Production. *International Scientific Journal, Science, Business, Society*, 3 (4), 150-152.
- Gül, A., Tüzel, İ.H., Tüzel, Y., İrget, M.E., Öztan, F., & Tepecik, M., 2005. Topraksız Tarım Sistemi ile Biber Yetiştiriciliğine Uygun Sulama ve Gübreleme Programının Geliştirilmesi. 2002 ZRF 03 no'lu proje.
- Jones, J. B., 1983. A Guide For The Hydroponic & Soilless Culture Grower. ISBN: 0-917304-49-7. Timber Press. Oregon.
- Kahraman, Ö., 1997. Bazı Topraksız Kültür Sistemlerinin Sera Kıvırcık yapraklı salata Yetiştiriciliğinde Kullanım Olanakları. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniv. Fen Bilimleri Ens., İzmir
- Karataş, P., 2011. Farklı Dikim Zamanları ve Organik Gübrelerin Topraksız Tarım Koşullarında Kıvırcık Yapraklı Salata (*Lactuca Sativa* Var. *Crispa*) Yetiştiriciliğinde Verim ve Kalite Özelliklerine Etkisi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Tokat.
- Koudela, M., & Petrikova, K., 2008. Nutrients content and yield in selected cultivars of leaf lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *crispa*). *Hort. Sci.* 35(3): 99-106.
- Resh, H.M., 1991. *Hydroponic Food Production*. Woodbridge Press Pub. Com., California
- Sevgican, A., 1999. Örtüaltı Sebzeciliği (Topraksız Tarım) Cilt II. Ege Üniversitesi Basımevi, Bornova-İzmir. 130s.



Thompson, C. H., & Kelly, C. W., 1957. Vegetable Crops. McGraw Hill Book, Co. Inc., USA.

Usluer, O., 2008. Farklı Ortamlar Kullanılarak Topraksız Yetiştirilen Baş salatada (*Lactuca Sativa* Var. *Capitata*) Verim Ve Bazı Kalite Özelliklerinin İncelenmesi. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa

Variş, S., 1991. Sera sebzelerinin perlit doldurulmuş torbalarda topraksız yetiştirilmeleri. T.Ü. Ziraat Fakültesi Tekirdağ Yayınları: 128 (10), 15.

Wassink, E. C., & Stolwijk, J. A. J., 1956. Effects of light quality on plant growth. Annual Review of Plant Physiology, 7, 373-400.



# Yeni Planlı Alanlar İmar Yönetmeliğinin İnşaat Sektöründeki Yansımaları Üzerine Bir Çalışma

Savaş Bayram<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0153-6750)

(İlk Geliş Tarihi 18 Temmuz 2019 ve Kabul Tarihi 21 Ekim 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.593868)

**ATIF/REFERENCE:** Bayram, S. (2019). Yeni Planlı Alanlar İmar Yönetmeliğinin İnşaat Sektöründeki Yansımaları Üzerine Bir Çalışma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 96-102.

## Öz

Türkiye’de modern imar planlamasının ilk adımları 1928 yılında atılmış olup, güncel imar uygulamalarına uyum sağlanabilmesi amacıyla imar mevzuatında yapılan güncellemeler yaklaşık yüz yıldır devam etmektedir. Son olarak 2017 yılında Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği yürürlüğe girmiş ve imar uygulamalarında önemli değişiklikler getirmiştir. Ancak mevzuatta yapılan bu tür değişiklikler akademik çalışmalarda kısıtlı olarak incelenmektedir. Kısıtlı sayıda yapılan bu araştırmalar da Türkiye’de uygulamadan sorumlu idarelerin imar planı uygulamalarında çeşitli sorunlarla karşılaştıklarını göstermektedir. Hâlbuki imar kapsamındaki mevzuat değişikliklerinin inşaat sektörü çalışanları tarafından doğru olarak anlaşılabilmesi, uygulamada yaşanan problemlerin minimize edilmesi açısından son derece önemlidir. Bu çalışmada, Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği kapsamında değiştirilen ve yeni eklenen düzenlemelere inşaat sektöründe çalışmakta olan inşaat mühendisleri ve mimarların bakış açılarının ve güncel mevzuat farkındalık düzeylerinin belirlenebilmesi amacıyla toplam 20 sorudan oluşan bir anket çalışması uygulanmış ve katılımcıların yeni imar yönetmeliğinde yapılan düzenlemeler ile ilgili düşünceleri değerlendirilerek elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Bu kapsamda katılımcıların demografik özelliklerinin belirlenmesinin yanında beşli likert ölçeği de kullanılmıştır. Özellikle tartışmalı konulardan olan; konutlarda minimum 1+1 tasarımın zorunlu hale gelmesinin ‘önem derecesi düşük’ gösterge olarak değerlendirildiği, taban alanı katsayısının (TAKS) %60’ı geçmemesi şartıyla uygulama yapılabilmesi hususunun ‘ortalama’ gösterge olarak değerlendirildiği, bodrum kat dairelere gün ışığı alma koşulu getirilmesi hususunun ‘yüksek’ gösterge olarak değerlendirildiği sonuçlarına ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** İnşaat sektörü, İmar uygulamaları, Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği, İnşaat mühendisi, Mimar.

## A Study on the Reflections of the New Planned Areas Zoning Regulation in the Construction Sector

### Abstract

In Turkey, the first steps of the modern urban planning were taken in 1928. The zoning legislation updates have been proceeding for nearly a hundred years in order to adapt to the modern zoning practices. Finally, in 2017, the Planned Areas Zoning Regulation entered into force and introduced significant changes in the zoning practices. However, such changes in the legislation are limited in academic studies. The limited number of these studies also indicate that the governmental administrations, responsible for implementation, encounter various problems in terms of zoning plan applications. The reality on the other hand is that it is very significant for the construction sector’s employees to perceive the legislative changes correctly in order to minimize the problems in practice. In this study, a survey consisting of 20 questions was applied to determine the perspectives of civil engineers and architects, actively working in the Turkish construction sector. The purpose of the study was to determine the awareness level of the respondents

\* Sorumlu Yazar: Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye, ORCID: 0000-0002-0153-6750, [sbayram@erciyes.edu.tr](mailto:sbayram@erciyes.edu.tr)

related to new Planned Areas Zoning Regulation. The findings were evaluated, and the results were discussed. In this context, a five-point Likert scale was used besides the demographic characteristics of the participants. Particularly the controversial issues as; the necessity of minimum 1+1 design in the residences is considered as a 'low level' indicator, where the application of the building coverage ratio should not exceed 60% is considered as an 'average' indicator, and the requirement to bring daylight into the basement flats is considered as a 'high level' indicator.

**Keywords:** Construction sector, Zoning practices, Planned Areas Zoning Regulation, Civil Engineer, Architect.

## 1. Giriş

Türkiye’de yapılaşma ve şehirleşme, temel olarak 1985 yılından bu yana yürürlükte olan 3194 sayılı İmar Kanunu ve bu kanunun genel hükümlerine açıklık getirmek üzere yayımlanan İmar Yönetmelikleri hükümlerine göre yürütülmektedir. Daha eskiye döndüğünde, modern anlamda ilk imar planlaması, 1928 yılında yayımlanan 1351 sayılı Ankara İmar Müdürlüğü Kuruluş ve Görevini Tayin Eden Kanun ile hayata geçirilmiştir. 1930 tarih ve 1580 sayılı Belediye Kanunu ile bütün belediyelerin imar planı yapmaları zorunluluğu getirilmiş olup, 1933 yılında da her kentte planlama çalışmalarını düzenlemek amacıyla 2290 sayılı Belediye ve Yollar Kanunu yürürlük kazanmıştır (Özkaya, 2000). Türkiye Cumhuriyeti tarihinde imara ilişkin çalışmalar yaklaşık yüz yıldır devam etmekte olup, özellikle ikinci dünya savaşı sonrasında başlayan köyden kente göç nedeniyle ivme kazanmış ve 1950 yılından sonra çok sayıda kanun, tüzük, yönetmelik ve genelge yürürlüğe konulmuştur. İmar Hukukunda İmar Kanunundan sonra en fazla kullanılan kaynaklar; Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği, Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği ve Plansız Alanlar İmar Yönetmeliği olarak sıralanmıştır (Öngören, 2017).

Türkiye’nin gelişmekte olan ülkeler sınıfında bulunması ve modern imar uygulamalarına uyum sağlayabilmesi amacıyla imar mevzuatında yapılan güncellemeler kaçınılmazdır. Türkiye’nin çeşitli yerleşim birimlerinde global ölçekte yaşanan kentsel dönüşüm süreci de kentleşmeye yönelik yaklaşımların, mevcut imar planlarının ve bunların uygulamasının yeniden gözden geçirileceği bir dönem olarak algılanmalıdır (İnam vd., 2015). Ancak imar mevzuatından beklenenin gerçekleşmesi; belediyelerin parasal imkânlarla birlikte yeter sayıda ve tecrübeli teknik eleman çalıştırabilme imkân ve ortamına kavuşturulmalarına, planların gecikmesiz ve yansız uygulamasını sağlayıcı önlemlerin alınmasına ve özellikle konu hakkında belde halkının aydınlatılmasına bağlıdır. Bu kapsamda 1985 yılında yürürlüğe giren, yaklaşık 32 yıl yürürlükte kalan ve bu süreçte on beşin üzerinde değişikliğe uğrayan Planlı Alanlar Tip İmar Yönetmeliği, yerini 03/07/2017 tarihinde yayımlanan ve kısa sürede dört revizyona uğrayan Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği’ne bırakmıştır. Dünya genelinde, örneğin Tayvan’da deprem riski altındaki bölgelerdeki imar düzenlemelerinin 2002 yılından bu yana arazi kullanımı ve mülk işlemlerine nasıl yansıdığı dahi incelenmişken (Chen ve Chang, 2018), yeni imar yönetmeliğinin Türk inşaat sektörüne yansımaları kapsamında yeterli düzeyde akademik çalışma yapılmamıştır. Kısıtlı sayıda yapılan araştırmalar da Türkiye’de uygulamadan sorumlu idarelerin imar planı uygulamalarında çeşitli sorunlarla karşılaştıklarını göstermektedir. Bu sorunlar, genel olarak; uygulama sorunları, kurumsal sorunlar ve sosyal sorunlar olarak sınıflandırılmaktadır (Yıldız, 1992; Çay ve Özen, 1998; Sağlam, 2003). Örneğin Yıldız (1992); kamulaştırma, ifraz, arazi ve arsa düzenlemeleri gibi uygulamalarda karşılaşılan sorunları teknik, ekonomik ve hukuki sorunlar altında incelemiş olup, planın uygulanmasını engelleyen hukuki mevzuata ilişkin bazı hükümlerin tekrar gözden geçirilmesi gerektiğini ifade etmiştir. Çay ve Özen (1998), 18 uygulaması ile düzenlemeye alınan ve yapılaşmaya uygun olmayan kadaströ parsellerinin imar parseline dönüştürülebildiğini, hâlbuki topografik yapı bozuk olduğu için planının bu gibi yerleri genellikle yeşil alan olarak ayırdığını, bu nedenle bu gibi alanların düzenleme dışı bırakılması gerektiğini ifade etmişlerdir. Literatürde yer bulan diğer bir sorun da imar mevzuatının mimari tasarıma getirdiği sınırlamalardır. Sonkaya (2017); Büyükşehir Belediyesi İmar Yönetmeliklerinde, Planlı Alanlar Tip İmar Yönetmeliğine aykırı hükümlerin yer almakta olduğunu ve bu nedenle mevzuatta çelişkiler ortaya çıktığını, merkez ve ilçe Belediyelerinde imar mevzuatının farklı algılandığını ve farklı uygulandığını, bu durumun doğrudan kentleşmeye yansıdığını ve kamu yararı hiçe sayılarak kamu düzeninin korunamadığını vurgulamıştır. Hatta yapısal tasarım sürecinde karşılaşılan mühendislik sorunları mimarlık açısından inceleme alanı da bulmuştur. Çambel ve Özgan (2018), Bolu ve Düzce’de görev yapan 73 mimara uyguladıkları anket çalışması kapsamında; döşeme kalınlığında müdahale olduğu, çatı detayına müdahalenin en çok saçak detayında ortaya çıktığı vb. sonuçlara ulaşmışlardır. Literatürde yer alan çalışmalardan da anlaşıldığı üzere, imar kapsamındaki mevzuat değişikliklerinin inşaat sektörü çalışanları tarafından doğru olarak anlaşılabilmesi son derece önemlidir. Bu çalışmada, Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği kapsamında değiştirilen ve yeni eklenen düzenlemelere inşaat sektöründe çalışmakta olan inşaat mühendisleri ve mimarların bakış açılarının ve mevzuata hâkimiyet düzeylerinin belirlenebilmesi amacıyla toplam 20 sorudan oluşan bir anket çalışması uygulanmış ve katılımcıların bahsi geçen değişiklikler hakkındaki düşünceleri değerlendirilerek elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Planlı Alanlar İmar Yönetmeliğinin 03/07/2017 tarihinde yayımlanması ile imar uygulamalarında birçok önemli düzenleme ve değişiklik getirilmiştir. Örneğin, 02/11/1985 tarihli Planlı Alanlar Tip İmar Yönetmeliğinde yer alan ve mülga (kaldırılan) yönetmeliklere uyma imkânı tanıyan geçici maddelerin 01/10/2017 tarihi itibarıyla yürürlükten kaldırılarak, imar disiplini bozan birden fazla yönetmeliğin tercih edilebilmesi uygulamasına son verilmesi amaçlanmıştır. Bunun yanı sıra her bölgenin coğrafi, tarihi, kültürel ve yöresel özelliklerine göre ayrı ayrı imar düzenlemeleri yapılabilmesi ve imar düzenlemelerinin yerelde hazırlanarak denetim yetkisine sahip Çevre ve Şehircilik Bakanlığına gönderilmesi gibi önemli düzenlemeler getirilmiştir.

Özet olarak, 2017 yılı sonlarından bu yana geçen yaklaşık bir yılda dört değişiklik yapılan Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği göz önüne alındığında;

• 30/09/2017 tarihli ve toplam 16 maddeden oluşan birinci değişiklik kapsamında; 'atrium' tanımı değiştirilmiş, emsal harici alanlar ile parselin toplam emsale esas alanı arasındaki ilişki düzenlenerek emsal haricinde kalan kısımlar tanımlanmış, riskli alan kapsamına alınmış yapıların ruhsat işlemleri ile tadilat ruhsatı başvuru şekilleri düzenlenmiştir.

• 06/02/2018 tarihli ve toplam üç maddeden oluşan ikinci değişiklik kapsamında; projelerin incelenmesi yetkisinin 'idare' yerine 'idarelerin en az 1 yıl deneyimi haiz teknik personeli' tarafından yapılması değişikliği getirilmiştir.

• 28/07/2018 tarihli ve toplam altı maddeden oluşan üçüncü değişiklik kapsamında; asansör yeri ve asansör tesisi için kat sınırları düzenlenmiş olup, ifraz, tevhit ve parsel sınırı düzeltme işlemleri netleştirilmiş, kademe uygulaması detaylandırılmış, tadilat ruhsatı başvuru şekli yeniden düzenlenmiştir.

• 27/10/2018 tarihli ve toplam beş maddeden oluşan dördüncü değişiklik kapsamında; yapı kullanma izin belgesi ve yapı ruhsatı yeniden tanımlanarak örnek formlara yer verilmiş olup, kot farkı 3,50 metreden fazla olan binaların kotunun nasıl belirleneceği netleştirilmiştir.

Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği kapsamında yapılan önemli düzenlemelerin bir kısmı, aşağıda sıralanmıştır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017):

- 5. maddenin 6. fıkrası (TAKS sınırı),
- 5. maddenin 25. fıkrası (konut için bağımsız bölümler),
- 28. maddenin 7. fıkrası (mimari estetik komisyon kararı),
- 40. maddenin 11. fıkrası (dış cephe boya ve kaplamaları ile çatı malzemesi ve rengi),
- 44. maddenin 2. fıkrası (kapıcı daireleri ve bekçi odaları),
- 62. maddenin 1. fıkrası (Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumunun uygun görüşü).

Uygulamanın odak noktasını, yukarıda bir kısmı verilen ihtilafli maddeler oluşturmaktadır.

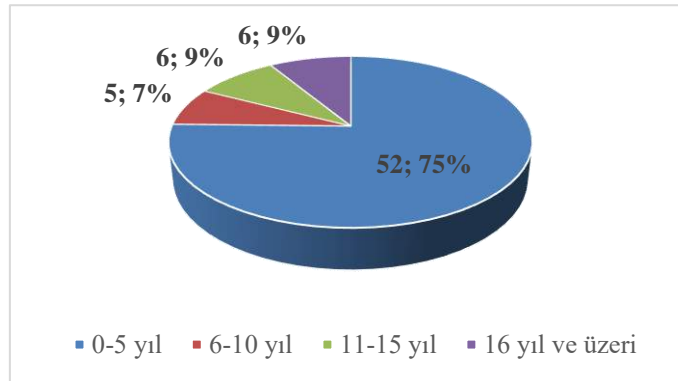
### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışmada veri toplama aracı olarak anket yöntemi kullanılmıştır. Anket, gözlemleri standartlaştırmak üzere başvuru alan araçlardan birisidir. Anket, belli bir konuda saptanmış hipotezlere ya da sorulara bağlı olarak bir evren ya da örnekleme oluşturan kaynak kişilere sorular yönelmek suretiyle sistemli veri toplama tekniği olarak tanımlanabilir (Balcı, 2005). Anket, kaynak kişilerin okur-yazar olmalarını gerektirir. Bu nedenle yazılı veri toplama aracı olarak da tanımlanabilmektedir. Bu çalışmada, inşaat sektöründe çalışmakta olan toplam 69 inşaat mühendisi ve mimara 20 sorudan oluşan bir anket çalışması uygulanmıştır. Bu kapsamda ilk dört soru demografik özelliklere, geriye kalan 16 soru da beşli likert ölçeği (1=kesinlikle katılmıyorum, 5=kesinlikle katılıyorum) kullanılarak Planlı Alanlar İmar Yönetmeliğinin inşaat sektöründeki yansımalarına ayrılmıştır. Detaylar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Ölçekler ve Sınır Değerler (Memnun vd., 2012)

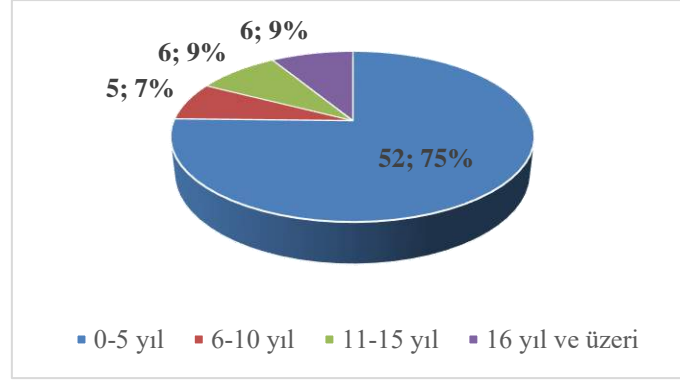
Ölçek	1	2	3	4	5
Sınır değer	1,00-1,80	1,81-2,60	2,61-3,40	3,41-4,20	4,21-5,00
Sonuç	Kesinlikle Katılmıyorum	Katılmıyorum	Fikrim Yok	Katılıyorum	Kesinlikle Katılıyorum

Katılımcıların 50'si (%72) inşaat mühendisi ve 19'u (%28) mimar olup, katılımcı profili ağırlıklı olarak özel sektör çalışanlarından (%78) oluşmaktadır. Ayrıca katılımcıların %14'ünü akademik personel, %8'ini de kamu çalışanları oluşturmaktadır. Katılımcıların mesleki deneyimleri Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Mesleki Deneyim

Katılımcılar, ağırlıklı olarak yeni mezun profiline sahiptir. Katılımcıların yaklaşık beşte biri ise sektörde 10 yıl üzeri deneyime sahiptir.



Şekil 2. Yeni Yönetmeliğe Hâkimiyet Düzeyi

Katılımcıların yarısından fazlası (%52), Planlı Alanlar İmar Yönetmeliğine genel anlamda yeterince hâkim olmadıklarını beyan ederken, üst düzeyde hâkim olduklarını beyan edenlerin oranı %7'yi geçmemektedir.

Beşli likert ölçeğinde tanımlanan 16 soru için ölçek güvenirliği değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, iç tutarlılık adına sıklıkla kullanılan bir ölçüm olan Cronbach's Alpha katsayısı ( $\alpha$ ) hesaplanmıştır. ( $\alpha$ ), ölçekte bulunan maddelerin homojen yapısını açıklamak veya sorgulamak üzere kullanılmaktadır. ( $\alpha$ ) değeri yüksek olan ölçek, maddelerinin birbirleriyle tutarlı olduğu şeklinde yorumlanır (Yıldız ve Uzunsakal, 2018). ( $\alpha$ ) değeri aşağıdaki formülle hesaplanır (Alpar, 2013);

$$\alpha = \left( \frac{k}{k-1} \right) \times \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^k \sigma^2 y_i}{\sigma^2 x} \right) \quad (1)$$

Burada;  $K$ : Madde sayısı (likert ölçeği ile hazırlanan soru sayısı),  $\sigma^2_{y_i}$ :  $i$ . maddenin toplam örnekleme varyansı,  $\sigma^2_x$ : Toplam test skorunun varyansı olarak ifade edilir. Bu çalışma kapsamında beşli likert ölçeğinde sunulan toplam 16 soru için  $\alpha=0,78$  olarak hesaplanmıştır. Literatürde,  $\alpha$  değeri 0,70 ve üzerinde olan ölçümlerin güvenilir olduğu kabul edilmektedir (Bernardi, 1994). Sınır değer olarak 0,70 değeri göz önünde bulundurulduğunda, ölçeğin güvenilir olduğu söylenebilir. Katılımcılara yöneltilen sorulardan elde edilen ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 2'de sunulmuştur. Buna göre 1, 5 ve 13 no'lu sorular genel nitelikte olup, diğer sorular 2. bölümün sonunda bahsi geçen madde hükümlerine dayanılarak hazırlanmıştır.

Tablo 2. Anket Çalışmasından Elde Edilen Sonuçlar

No	Açıklama	( $\bar{x}$ )	( $\sigma$ )
1	Yeni planlı alanlar imar yönetmeliği çarpık kentleşmeyi ortadan kaldıracaktır.	2,81	1,075
2	Yeni planlı alanlar imar yönetmeliğinin kentsel dönüşüme olumlu katkısı olacaktır. (Madde 5/17)	3,09	1,067
3	Yeni planlı alanlar imar yönetmeliğinde taban alanı katsayısının (TAKS) %40'tan %60'a çıkarılabilmesi yeşil alan sorunu oluşturacaktır. (Madde 5/6)	3,72	1,403
4	Yeni planlı alanlar imar yönetmeliğinde TAKS'in %40'tan %60'a çıkarılabilmesi yatay kentleşmeyi olumlu yönde etkileyecektir. (Madde 5/6)	3,14	1,154
5	Yeni planlı alanlar imar yönetmeliği çarpık kentleşmeyi ortadan kaldıracaktır.	2,75	1,143
6	Yeni planlı alanlar imar yönetmeliği mimari estetiğe katkı sağlayacaktır. (Madde 28/7)	2,74	1,146
7	Yeni planlı alanlar imar yönetmeliği kapsamında belediyelere dış cephe renkleri ve çatı detayları gibi konularda düzenleme yetkisi verilmesi, yerel mimariyi geliştirecektir. (Madde 40/11)	2,99	1,299
8	Yeni planlı alanlar imar yönetmeliğindeki; "Silueti olumsuz etkilememek kaydıyla Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumunun uygun görüşü alınarak; ruhsat alınmadan elektronik haberleşme (baz) istasyonu kurulabilir" ifadesi olumlu bir iyileştirme değildir. (Madde 62/1)	2,71	1,305



Tablo 2. Anket Çalışmasından Elde Edilen Sonuçlar (Devamı)

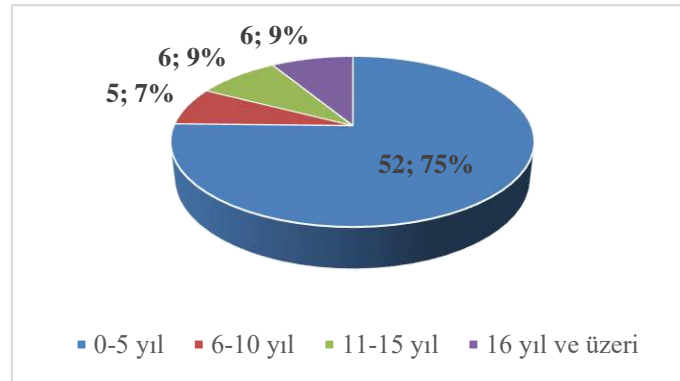
No	Açıklama	( $\bar{x}$ )	( $\sigma$ )
9	Yeni planlı alanlar imar yönetmeliğindeki; “Güneş kaynaklı yenilenebilir enerji sistemleri ruhsata tabi değildir” ifadesi (güneş enerji santrallerinde ruhsat aranmaması) olumlu bir iyileştirmedir. (Madde 59/2)	3,74	1,241
10	Yeni planlı alanlar imar yönetmeliğindeki; “giriş katların iş yeri olarak kullanılacak olması” mevcut giriş katlardaki iş yerlerini mevzuata uygun hale getirecektir. (Madde 46/1)	3,54	0,969
11	Yeni planlı alanlar imar yönetmeliğindeki; “Fenni mesullerden mimar veya inşaat mühendisi; 30.000 m <sup>2</sup> den fazla inşaatın fenni mesuliyetini aynı anda üstlenemez” ibaresini destekliyorum. (Madde 68/13)	3,90	1,108
12	Yeni imar yönetmeliğinde “1+0 stüdyo dairelerin kaldırılması”nı destekliyorum. (Madde 5/25)	2,87	1,495
13	Yeni imar yönetmeliği maddeleri oldukça açıklayıcı ve anlaşılırdır.	2,94	0,814
14	Yeni imar yönetmeliğinde “gün ışığı almayan bodrum kat dairelerinin yasaklanması”nı destekliyorum. (Madde 44/2)	4,04	1,309
15	Yeni imar yönetmeliğinde “otoparkın emsalden sayılmaması” otopark sorununun çözülmesine katkı sağlayacaktır. (Madde 22/1)	3,57	1,213
16	Yeni imar yönetmeliğinde; inşaat ruhsatı beklenmeden mimari proje onayına müteakip kazı izni verilmesi imkânının getirilmesi, projelerin hazırlanması ve ruhsatın düzenlenmesi için geçen 3-4 aylık sürede kazı imalatlarının yapılabilmesine olanak sağlayacak ve yatırımcı zaman kazanacaktır. (Madde 59/3)	3,60	1,199
<b>ORTALAMA</b>		<b>3,26</b>	<b>1,184</b>

Tablo 2, toplam 16 sorudan elde edilen aritmetik ortalama sonuçlarından dokuzunun ‘3’ aralığında (2,61-3,40) ve yedisinin ‘4’ aralığında (3,41-4,20) olduğunu göstermektedir. Buna göre genel değerlendirme, verilen hükümlere nötr yaklaşım ve katılma eğilimini işaret etmektedir. En fazla desteklenen husus; yeni yönetmelikte bodrum kat dairelerinin yasaklanması olurken (soru 14), en az desteklenen husus; ruhsat alınmadan sadece BTK’nın uygun görüşü alınarak baz istasyonu kurulabilmesi (soru 8) olarak görülmektedir. Bunu yanısıra, 13. soru dışındaki bütün soruların standart sapması 1,000 değerinden büyük olarak elde edilmiştir. Böylece, verilen cevapların değişken oldukları ve genel olarak katılımcılar arasında fikir birliğinin bulunmadığı ifade edilebilir.

Çalışma kapsamında, inşaat mühendisi ve mimar çalışanların ayrı ayrı göreceli öneme sahip algılarını belirlemek için her bir soruya verdikleri cevapların rölâtif önem endeksi (RÖE) değerleri (relative importance index, RII) de hesaplanmıştır. RÖE değerleri aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Gündüz vd., 2013):

$$RÖE = \frac{\sum W}{AxN} = \frac{5n_5 + 4n_4 + 3n_3 + 2n_2 + 1n_1}{5xN} \quad (2)$$

Burada; *W*: Her soruya verilen cevapların ağırlık değerini (bu çalışmada 1’den 5’e kadar), *A*: En yüksek ağırlık katsayısını (bu çalışmada 5), *N*: toplam katılımcı sayısını ifade etmektedir.



Şekil 3. İnşaat Mühendisi ve Mimar Gruplarından Elde Edilen RÖE Değerleri

Literatürde  $RÖE < 0,6$  değeri önem derecesi düşük gösterge olarak,  $0,6 \leq RÖE < 0,8$  ortalama gösterge olarak ve  $0,8 \leq RÖE \leq 1$  yüksek gösterge olarak tanımlanmaktadır (Artan İlter, 2017). Buna göre meslek grupları açısından önem arz eden göstergeler farklılık göstermektedir. İnşaat mühendisleri açısından en önemli göstergeler, sırasıyla; fenni mesul olarak mimar veya inşaat mühendislerinin 30.000 m<sup>2</sup>'den fazla inşaatın fenni mesuliyetini aynı anda üstlenmemesi (Soru 11,  $RÖE=0,79$ ), gün ışığı almayan bodrum kat dairelerinin yasaklanması (Soru 14,  $RÖE=0,78$ ) ve TAKS'ın %40'tan %60'a çıkmasının yeşil alan sorunu oluşturacağı (Soru 3,  $RÖE=0,75$ ) olarak belirlenmiştir. Mimarlar açısından ise en önemli göstergeler, sırasıyla; gün ışığı almayan bodrum kat dairelerinin yasaklanması (Soru 14,  $RÖE=0,88$ ), güneş kaynaklı yenilenebilir enerji sistemlerinde ruhsat şartı aranmaması (Soru 9,  $RÖE=0,80$ ) ve inşaat ruhsatı beklenmeden mimari proje onayına müteakip kazı izni verilmesi imkânının getirilmesinin yatırımcıya zaman kazandıracak olması (Soru 16,  $RÖE=0,78$ ) şeklinde belirlenmiştir.

İnşaat mühendisleri açısından önem derecesi en düşük göstergeler, sırasıyla; stüdyo dairelerin kaldırılması (Soru 12,  $RÖE=0,58$ ), çarpık kentleşmenin ortadan kalkacağı inancı (Soru 1 ve 5,  $RÖE_{ort}=0,57$ ) ve BTK'nın uygun görüşü alınarak ruhsat alınmadan baz istasyonu kurulabilmesi (Soru 8,  $RÖE=0,54$ ) olarak gösterilmektedir. Mimarlar açısından ise, sırasıyla; BTK'nın uygun görüşü alınarak ruhsat alınmadan baz istasyonu kurulabilmesi (Soru 8,  $RÖE=0,57$ ), çarpık kentleşmenin ortadan kalkacağı inancı (Soru 1 ve 5,  $RÖE_{ort}=0,52$ ) ve yeni yönetmeliğin mimari estetiğe katkı sağlayacağı düşüncesi (Soru 6,  $RÖE=0,44$ ) olarak gösterilmektedir.

## 4. Sonuç

03/07/2017 tarihinde yayımlanarak yaklaşık üç ay gibi kısa süre sonra, 01/10/2017 tarihinde yürürlüğe giren yeni Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği, eski Planlı Alanlar Tip İmar Yönetmeliği kapsamındaki mevcut prosedür ve ilkelere önemli değişiklikler getirmiştir.

Yapılan en önemli değişikliklerden birisi en küçük daire büyüklüğünün 27,5 m<sup>2</sup>'den 28,5 m<sup>2</sup>'ye çıkarılmasıdır. Her ne kadar alan olarak bariz bir fark söz konusu olmasa da her daireye oturma odası ve yatak odası zorunluluğu getirilmesi, minimum 1+1 tasarımı zorunlu kılmaktadır. Bu da son yıllarda revaçta olan 1+0 dairelerin artık tasarlanamayacağı anlamına gelmektedir. Bu hususta rölatif önem endeksi ( $RÖE$ ) değerleri katılımcı inşaat mühendisleri ( $RÖE=0,58$ ) ve mimarlar ( $RÖE=0,59$ ) tarafından 'önem derecesi düşük' gösterge olarak görülmektedir.

Yine önemli bir değişiklik olarak görülen bodrum kat dairelere gün ışığı alma koşulu getirilmesi hususunda ( $RÖE$ ) değerleri, katılımcı inşaat mühendislerinin bu değişikliği 'ortalama gösterge' olarak ( $RÖE=0,78$ ) ve mimarların 'yüksek gösterge' olarak ( $RÖE=0,88$ ) gördüklerini ifade etmektedir. Her iki taraf açısından en önemli ilk üç göstergede ortak olan tek göstergenin bu olması dikkat çekmektedir. Özellikle 2012 yılında Samsun'da yaşanan sel felaketi sonrasında binaların bodrum katlarında yaşanan can kayıpları, yeni yönetmelikte bodrum kat dairelerin tasarlanmasını olanaksız hale getirmiştir. Bu hususta mimarlar, inşaat mühendislerine göre daha hassas bir tutum göstermektedirler.

Yeni yönetmelik kapsamında; çekme mesafeleri ve KAKS verilen ancak TAKS verilmeyen parsellerde TAKS'ın %60'ı geçmemesi şartıyla çekme mesafelerine göre uygulama yapılabilmesi, bir başka ifadeyle TAKS'ın %40'tan %60'a çıkarılabilmesi, peyzaj alanlarının azaltılması açısından olumsuz bir durum olarak algılanmakla birlikte, yatay kentleşmeyi olumlu yönde etkileyecek bir girişimdir. Şöyle ki, yapının taban alanının artması, aynı inşaat alanının daha az katla tamamlanabilmesi anlamına gelmektedir. Bu değişikliği katılımcı inşaat mühendisleri ( $RÖE=0,64$ ) ve mimarlar ( $RÖE=0,61$ ) benzer şekilde 'ortalama gösterge' olarak görmektedirler.

Kentlerdeki estetik şartının yerine getirilebilmesi amacıyla yapı ruhsatlarının onaylanmasında görev alacak 'Mimari Estetik Komisyonu' kurulması da yeni yönetmelikte yer bulan önemli bir düzenlemedir. Komisyonunda yer alacak meslek grupları; mimar, peyzaj mimarı, mimarlık tarihçisi, sanat tarihçisi, inşaat mühendisi, çevre mühendisi, şehir plancısı ve harita mühendisi olarak tanımlanmıştır. Ancak katılımcı inşaat mühendisi ( $RÖE=0,59$ ) ve mimarların ( $RÖE=0,44$ ) bu yeniliğe bakış açıları da 'önem derecesi düşük' göstergesi aşamamaktadır. Burada dikkat çekici olan, inşaat mühendislerinin 'Mimari Estetik Komisyonu' kavramına mimarlara göre daha ılımlı bakmalarıdır.

Bu çalışma, inşaat sektöründe önemli rolleri olan inşaat mühendisleri ve mimarların, 2017 yılında yürürlüğe giren Planlı Alanlar İmar Yönetmeliğine ve bu yeni yönetmelik kapsamında yapılan değişikliklere bakış açılarını belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın, dikkate alınacak gösterge sayısı artırılarak ve/veya çeşitlendirilerek, bunun yanında örnekleme büyütülerek geliştirilmesi mümkündür.

## Kaynakça

- ALPAR, R. (2013), *Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Yöntemler*, 4. Baskı, Detay Yayıncılık, Ankara.
- ARTAN İLTER, D. (2017), Türk Yüklenici Firmaların Çevresel Performanslarının Analizi, *İMO Teknik Dergi*, yazı 474, 7795-7822.
- BALCI, A. (2005), *Sosyal Bilimlerde Araştırma*, Pegem Yayıncılık, Ankara.
- BERNARDI, R.A. (1994), Validating Research Results When Cronbach's Alpha is Below .70: A Methodological Procedure, *Educational and Psychological Measurement*, 54(3), 766-775.
- CHEN, T.L., and CHANG, H.S. (2018), The Effects of Zoning Regulations along Fault Zone Areas on Land Development and Property Values after the 921 Chi-Chi Earthquake in Taiwan, *Sustainability*, 10, 1175.
- ÇAMBEL, E., ve ÖZGAN, E. (2018), Mimari Tasarım Sürecinde Mühendislik Sorunlarının Mimarlar Açısından İncelenmesi, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 7(2), 47-70.
- ÇAY, T., ve ÖZEN, H. (1998), İmar Uygulamalarında Karşılaşılan Problemler ve Konya Örneği, *TKMD Mülkiyet Dergisi*, 28, 8-13.

- ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI (2017), *Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği*, 12.05.2019 tarihinde <https://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.23722&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=planl%C4%B1%20alanlar> adresinden alındı.
- GÜNDÜZ, M., NIELSEN, Y., and ÖZDEMİR, M. (2013), Quantification of Delay Factors Using the Relative Importance Index Method for Construction Projects in Turkey, *ASCE Journal of Management in Engineering*, 29(2), 133-139.
- İNAM, Ş., ÇAY, T., ve İŞCAN, F. (2015), Planlama ve İmar Kanunu Tasarısının Uygulanabilirliğinin Araştırılması, *Selçuk-Teknik Dergisi*, 14(1), 1-20.
- MEMNUN, D.S., HART, L.C., and AKKAYA, R. (2012), A Research on the Mathematical Problem Solving Beliefs of Mathematics, Science and Elementary Pre-service Teachers in Turkey in Terms of Different Variables, *International Journal of Humanities and Social Science*, 2(24), 172-184.
- ÖNGÖREN, G. (2017), "*Yargı Kararları Işığında*" *İmar Hukuku*, Öngören Hukuk Yayınları, No 8, İstanbul.
- ÖZKAYA, E. (2000), *İmar Kanunu Şerhi ve Mevzuatı*, 2. Baskı, Seçkin Yayıncılık, 1606 s, İstanbul.
- SAĞLAM, İ. (2003), Belediyelerce Yapılan Uygulamalardan Hareketle İmar Planı Uygulama Sorunlarını Belirlenmesi, *HKMO Bülteni*, 13-18.
- SONKAYA, İ. (2017), *İmar Mevzuatının Mimari Tasarıma Getirdiği Sınırlamalar ve Uygulama Sorunlarının Konya Örneğinde İrdelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- YILDIZ, D., ve UZUNSAKAL, E. (2018), Alan Araştırmalarında Güvenilirlik Testlerinin Karşılaştırılması ve Tarımsal Veriler Üzerine Bir Uygulama, *Uygulamalı Sosyal Bilimler Dergisi*, 2(1), 14-28.
- YILDIZ, F. (1992), İmar Planı Uygulamaları ve Karşılaşılan Sorunlar, *Harita Dergisi*, Sayı:108, 21-29.



# Atatürk Havalimanı Verileri Kullanılarak Rayleigh Dağılım Yöntemiyle İstanbul'un Rüzgâr Karakteristiğinin Tahmini

Sertaç GÖRGÜLÜ<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik - Mimarlık Fakültesi, Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü, Burdur, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8394-5362)

(İlk Geliş Tarihi 9 Ağustos 2019 ve Kabul Tarihi 1 Eylül 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.604739)

**ATIF/REFERENCE:** Görgülü, S. (2019). Atatürk Havalimanı Verileri Kullanılarak Rayleigh Dağılım Yöntemiyle İstanbul'un Rüzgâr Karakteristiğinin Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 103-108.

## Öz

Nüfus artışı ve sanayileşme ile birlikte gelişen teknoloji elektrik enerjisine olan talebi gün geçtikçe arttırmaktadır. Elektrik enerjisi ise yoğun olarak çevreye olan zararlarıyla ön plana çıkan ve tükenmekte olan fosil yakıt kaynakları kullanılarak üretilmektedir. Fosil yakıt kaynaklarının bu olumsuz etkilerinden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimine olan talep hızla artmaktadır. Ayrıca, enerji ithalatçısı olan ülkeler dışa bağımlılıklarını azaltmak için yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedir. Elektrik enerjisi üretiminde kullanılan en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi de rüzgâr enerjisidir. Rüzgârın sürekli olmaması, hızının değişken olması, kontrol edilemiyor olması gibi nedenler, rüzgâr santrali yatırımlarının gerçekleştirilmesi için çeşitli yöntemler kullanılarak fizibilite çalışmalarının yapılmasını gerekli kılmaktadır. Rüzgâr enerjisi potansiyelini belirlemede kullanılan çeşitli yöntemler vardır. Bu yöntemlerden biri de Rayleigh dağılım fonksiyonudur. Rayleigh dağılım fonksiyonu belirli bir bölgenin rüzgâr enerjisi potansiyelini belirlemede kullanılan istatistiksel yöntemlerden birisidir. Rüzgâr enerji potansiyeli ile ilgili olarak Türkiye'nin farklı bölgeleri için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada ise, Atatürk Havalimanı meteoroloji istasyonundan alınan veriler yardımıyla İstanbul için ortalama rüzgâr hızı frekans yoğunluğu ve rüzgâr gücü yoğunluğu Rayleigh dağılım fonksiyonu kullanılarak belirlenmiştir. 1 Kasım 2015 - 31 Ekim 2017 tarihleri arasındaki iki yıllık verilerin kullanıldığı bu çalışmada İstanbul ili için rüzgâr potansiyeli tahmini yapılmıştır. Meteoroloji istasyonundan alınan rüzgâr hızı verileri yardımıyla yapılan tahminler ve gerçek değerler ile Rayleigh dağılım fonksiyonundan elde edilen bu tahmini değerler karşılaştırılmıştır. Rayleigh dağılımının, olasılık yoğunluk tahmininde 0.877 korelasyon katsayısı ile güç yoğunluğunda ise %11.5 ile kabul edilebilir mertebede sonuçlar verdiği görülmüştür. Elde edilen bu sonuçlara göre bölgede rüzgâr enerjisi santrali kurulumuna uygun bir potansiyel bulunmadığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Meteorolojik veri, Rayleigh dağılımı, Rüzgâr tahmini.

## Estimation of Istanbul's Wind Characteristics via Rayleigh Distribution Method by Using Ataturk Airport Data

### Abstract

Population growth and technological advancements with industrialisation continuously increase the demand for electricity. Electricity is heavily produced with fossil fuel sources, which are environmentally hazardous and wasting assets. Due to the negative effects of using fossil fuels, the need for electricity production by renewable energy sources increase rapidly. Additionally, energy importing countries tend to national and renewable energy to decrease their external dependence. One of the most important renewable energy sources using in electricity production is wind energy. Due to the discontinuous wind, shifting wind speed and its uncontrollable nature, wind plant investments require various feasibility studies beforehand. There are multiple methods to determine the potential of wind power, one of which is Rayleigh distribution functions. Rayleigh distribution is a statistical method to determine a region's wind energy

\* Sorumlu Yazar: Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik - Mimarlık Fakültesi, Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü, Burdur, Türkiye, ORCID: 0000-0002-8394-5362, [sgorgulu@mehmetakif.edu.tr](mailto:sgorgulu@mehmetakif.edu.tr)

potential. There are a number of studies on the wind energy potential of Turkey's different regions. This study calculates the average wind speed frequency and wind power density for Istanbul with Rayleigh distribution, using the data from Istanbul Ataturk Airport meteorological station. By analysing two years of data from 01 November 2015 to 31 October 2017, this study projects the wind power potential for the city of Istanbul. Projections with the help of the wind speed data from the meteorological station are compared to estimations from Rayleigh distributions. The results are found to be acceptable with 0.877 correlation coefficient from the probability density projection and 11.5% in power density. Accordingly, there is not enough potential in the Istanbul region for a wind power plant installation.

**Keywords:** Meteorological data, Rayleigh distribution, Wind estimation.

## 1. Giriş

Dünyadaki hızlı nüfus artışıyla beraber endüstriyel gelişim ve refah seviyesindeki artış, enerjiye olan talep artışını beraberinde getirmektedir (Eren vd., 2016; Demir Yetiş vd., 2019). Gün geçtikçe artan bu talebi karşılamak için fosil yakıtlar yoğun olarak kullanılmaktadır. Dünya enerji arzında büyük paya sahip olan fosil yakıt kaynaklarının kullanılması hem atmosfere yüksek oranda insan kaynaklı sera gazlarının (karbondioksit, metan, diazot monoksit, vb.) salınımına neden olmakta hem de fosil yakıt kaynaklarının rezervlerinin hızlı bir şekilde tükenmesine ve dolayısıyla fiyat dalgalanmalarına neden olmaktadır. Bu durum enerjide dışa bağımlı olan ülkelerin ekonomisinde önemli problemlere neden olmaktadır. Enerjide dışa bağımlılığı azaltmak için dünya çapında yenilenebilir enerjilere yönelim artmıştır (Kurnuç Seyhan ve Badem, 2018; Fidan ve Alkan, 2014). Bu çerçeveden bakıldığında yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi daha net bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının fosil yakıtlara göre daha temiz, daha güvenilir ve daha ekonomik olduğu bilinmektedir (Kılıç ve Urgan, 2016). Fosil enerji kaynaklarının oluşturduğu problemlerin azaltılması amacıyla bilim adamları yeni enerji üretim araçları üzerine odaklanmış ve özellikle enerji üretimi ve dönüştürülmesi sırasında çevresel sorunlara neden olmayıp temiz enerji kaynağı olmaları sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiştir (Şenel ve Koç, 2015).

Rüzgâr enerjisi en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından birisidir ve güneş radyasyonunun yeryüzündeki alanları farklı ısıtmasından kaynaklanır. Yüzeylerin farklı ısınması, hava sıcaklığında, basınçta ve nemde farklılıklar olmasına ve bu farklar da havanın hareketine ve rüzgâr oluşumuna neden olur. Rüzgâr enerjisi; yenilenebilir olması, atmosferde serbest ve bol miktarda bulunması ve çevre kirliliği oluşturmaması gibi avantajlara sahiptir ve enerji açığının kapatılması için daha fazla faydalanılması gereken bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Dünya ve dünyamıza hayat veren güneş var oldukça var olacak rüzgâr enerjisinden faydalanmak için rüzgârın başka bir enerji şekline dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu dönüşüm için rüzgâr türbinleri kullanılmaktadır (Şenel ve Koç, 2015).

Herhangi bir bölgenin rüzgâr enerjisi potansiyelinin analizinin yapılabilmesi için o bölgede rüzgâr yönü ve saatlik rüzgâr hızı bilgilerinin en az bir yıl boyunca ölçülmesi gerekmektedir (Kaplan, 2016). Alınan rüzgâr verileri, teknik ve ekonomik açıdan incelenerek rüzgâr enerjisi santralının kurulumu için yatırım analizinde kullanılır (Doğanşahin vd., 2019). Son yıllarda Türkiye'de de rüzgâr enerjisi potansiyelinin belirlenmesinde yoğun çalışmalar sürdürülmekte ve bölgesel olarak istatistiksel analizler yapılmaktadır. Çeşitli dağılım parametreleri kullanılarak ve çözüm yöntemlerinden yararlanılarak durum değerlendirmeleri yapılmaktadır. Aynı analizler diğer ülkelerdeki bölgeler için de yapılmakta her ülke yenilenebilir enerji kaynaklarının en etkin şekilde kullanımını için çaba sarf etmektedir. Kamerun'da yapılan bir çalışmada Garoua şehri uluslararası havaalanında meteoroloji tarafından yapılan ölçümler kullanılmış ve şehrin rüzgâr enerjisi potansiyelinin belirlenmesi için iki parametrelili Weibull dağılımından yararlanılmıştır. Çalışmada  $k$  şekil parametresi ve  $c$  ise ölçek parametresi olarak tanımlanmıştır. Parametre tahmininde çözüm yöntemi olarak altı yöntem kullanılmıştır. Bunlar: Ampirik Metodu (EM), Enerji Model Faktörü Metodu (EPF), Grafik Metodu (GM), Maksimum Olabilirlik Metodu (MLM), Moment Metodu (MM) ve Düzeltilmiş Maksimum Olabilirlik Metodu (MMLM)'dur. Yapılan analiz neticesinde şehrin rüzgâr enerjisi potansiyelinin elektrik üretiminde istenilen düzeyde olmadığı ve mevcut rüzgâr enerjisi potansiyelinin tarımsal sulamada ve yel değirmenlerinin çalıştırılmasında daha faydalı olacağı anlaşılmıştır (Kidmo vd., 2015).

Rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi ve rüzgâr türbini kurulumu için yer seçimi ile ilgili çalışma yapan Bhattacharya ve Bhattacharjee (2010) iki parametrelili Weibull dağılımından yararlanarak rüzgâr enerjisi potansiyeli analizi yapmıştır. Hesaplamalarda Lineer En Küçük Kareler Metodu ve Maksimum Olabilirlik Metodu (MLM) kullanılarak parametreler hesaplanmıştır. Mert ve arkadaşları (2014) Antakya bölgesinin rüzgâr potansiyeli ile ilgili bir çalışma yapmış ve bölgedeki rüzgâr karakteristiğini incelemiştir. Analiz için iki parametrelili Weibull dağılımı ve Log-normal dağılımından faydalanılmıştır. Dağılımlarda ortalama rüzgâr hızı ve güç yoğunluğu tahminleri için Maksimum Olabilirlik Metodu (ML) ve En Küçük Kareler Metodu (LSM) kullanılmıştır. Rüzgâr enerjisi potansiyelini belirlemek için yapılan başka bir çalışmada Kaplan (2016) Osmaniye bölgesinin rüzgâr enerjisi potansiyelini analiz etmiş ve analizde Rayleigh ve iki parametrelili Weibull dağılımlarından yararlanmıştır. Parametre tahmini yapmak için Grafik ve Moment Metodu kullanılmıştır. Analizler sonucunda Weibull dağılımı için Grafik Metodunun gerçek değerlere daha çok uyum sağlamıştır. Rayleigh dağılımında ise Moment metodu kullanılırsa gerçek verilere daha yakın sonuçlar elde edilebileceği anlaşılmıştır. Yapılan diğer bir çalışmada Menemen'in rüzgâr enerji potansiyelini bulmak için Weibull ve Rayleigh dağılımlarını kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçları, bölgenin rüzgâr potansiyelinin elektrik enerjisi üretimi açısından uygun olduğunu göstermiştir (Gülersoy ve Çetin, 2010). Bababurnu, Belen, Datça ve Gökçeada olmak üzere dört farklı bölgenin rüzgâr enerjisi potansiyeli ve güç yoğunluklarının belirlenmesi için yapılan istatistiksel bir analiz çalışmasında Rayleigh ve iki parametrelili Weibull dağılımını kullanmıştır (Korukçu, 2011). Türkiye'nin batı, güney ve güneybatı kıyılarında bulunan bazı ilçelerdeki rüzgâr enerjisi potansiyelini istatistiksel olarak analiz edildiği başka bir çalışmada Weibull ve Rayleigh dağılım fonksiyonlarının yanında WASP (Wind Atlas Analysis and Application Program) programı da kullanılarak analizler yapılmış ve elde edilen değerler ölçülen verilerle karşılaştırılmıştır (Bilgili vd. 2010).

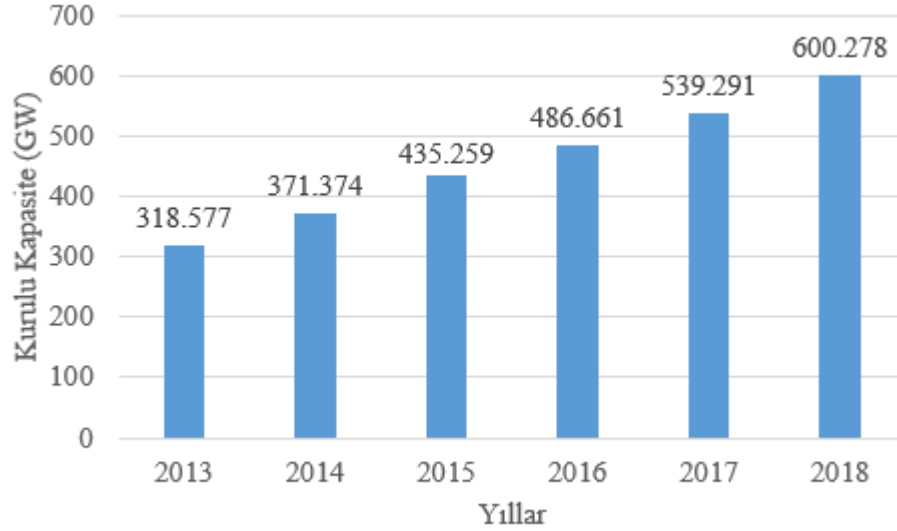
Bu çalışmada, Rayleigh dağılım yöntemi kullanılarak İstanbul şehri için rüzgâr enerjisi potansiyeli araştırılmıştır. 2015 yılının kasım ayı ile 2017 Ekim ayları arası iki yıllık rüzgâr verisi yardımıyla ortalama rüzgâr hızı ve ortalama rüzgâr gücü hesaplanmıştır.



Ayrıca rüzgâr olasılık fonksiyonu hesaplanmış ve ölçülmüş değerlerle karşılaştırılmıştır. Performans ölçütü olarak seçilen korelasyon katsayısına göre sonuçlar tartışılmıştır.

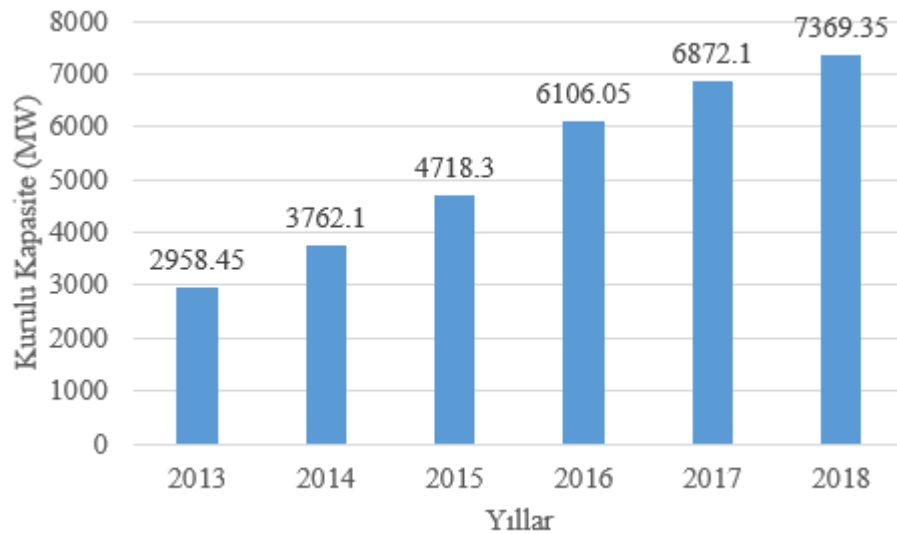
## 2. Dünyada ve Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi Kurulu Gücü

Dünyanın rüzgâr enerjisi kurulu gücü gün geçtikçe artmaktadır. 2017 yılında bir önceki yıla göre %10.8 artış gösteren dünya kurulu güç kapasitesi 2018 yılında 600 GW’a ulaşmıştır (WWEA, 2019). Şekil 1’de yıllara göre dünyadaki rüzgâr kurulu güç değişimi görülmektedir (WWEA, 2018).



Şekil 1. 2013 – 2018 yılların arasında dünyadaki rüzgâr kurulu gücünün değişimi

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de rüzgâr santrallerine olan ilgi gün geçtikçe artmakta ve devlet tarafından verilen teşvikler de bu artışa hız katmaktadır. Şekil 2’de ülkemizdeki rüzgâr kurulu gücünün yıllara göre değişimi görülmektedir. (TUREB, 2019). Şekilde de görüldüğü üzere 2018 yılında bir önceki yıla göre rüzgâr kurulu gücünde yaklaşık 500 MW’lık bir artış olmuştur. 2018 yılının ilk yarısı itibariyle ülkemizin kurulu gücü 87139 MW olmuştur (ETKB, 2018). 2018 yılı itibariyle ülkemizin rüzgâr kurulu gücü toplam kurulu gücün yaklaşık %8.5’ine ulaşmış durumdadır.



Şekil 2. 2013 – 2018 yılların arasında Türkiye’deki rüzgâr kurulu gücünün değişimi

### 3. Materyal ve Metot

Belirli bir dönem için ortalama rüzgâr hızının ve rüzgâr gücünün tahmininde birçok yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan geleneksel istatistiksel yöntemler en sık kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntemler arasında da sıklıkla kullanılan yöntemler Weibull, Rayleigh dağılım fonksiyonlarıdır. Bunlardan Rayleigh modeli Weibull modelinin basitleştirilmiş özel bir halidir. Tek parametrelidir olduğundan Rayleigh dağılımı Weibull dağılımına göre daha az esnek fakat parametrelerin hesabı daha kolaydır (Kurban vd., 2007). Rayleigh yoğunluk fonksiyonu ve kümülatif dağılım fonksiyonu sırasıyla aşağıdaki formüllerle hesaplanır (Gülersoy ve Çetin, 2010):

$$f_R(v) = \left(\frac{\pi}{2}\right) \left(\frac{v}{v_m}\right) \exp \left[ -\left(\frac{\pi}{4}\right) \left(\frac{v}{v_m}\right)^2 \right] \quad (1)$$

$$F_R(v) = 1 - \exp \left[ -\left(\frac{\pi}{4}\right) \left(\frac{v}{v_m}\right)^2 \right] \quad (2)$$

Sadece hız ve hız ortalaması verileri kullanılarak sonuca ulaşılabilmesi Rayleigh modelinin en önemli avantajlarından biridir. Rayleigh dağılımının rüzgâr tahminlerinde geçerliliği literatürdeki birçok kaynakta vurgulanmıştır. Rayleigh yönteminde ortalama rüzgâr güç yoğunluğu aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanır (Kurban vd., 2007):

$$P_R = \frac{3}{\pi} \rho v_m^3 \quad (3)$$

Burada  $\rho$  havanın yoğunluğu olup İstanbul Atatürk havalimanı için  $1.225 \text{ kg/m}^3$  alınabilir. Ölçüm değerleri ile tahmin sonuçlarının kıyaslanmasında kullanılacak performans ölçütü, korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) olarak belirlenmiştir. Korelasyon katsayısının formülü aşağıdaki gibidir (Kurban vd., 2007):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - y_m)^2} \quad (4)$$

Eşitlik 4'te  $y$  değerleri ölçülmüş değerleri,  $x$  değerleri tahmin edilmiş değerleri,  $y_m$  ise  $y$  değerlerinin ortalamasını temsil etmektedir.

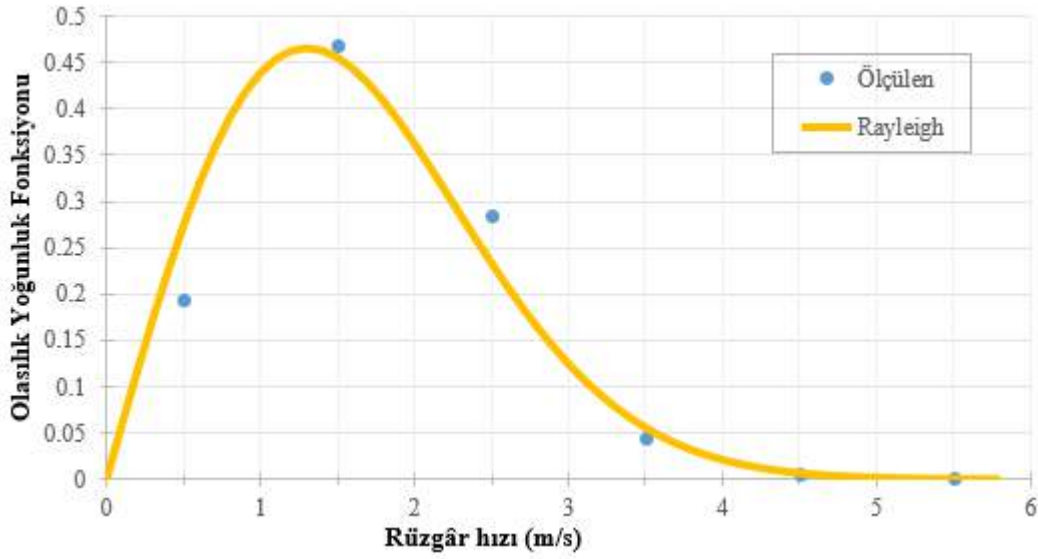
### 4. Bulgular

İstanbul şehri için, Meteoroloji Genel Müdürlüğü İstanbul Atatürk Havalimanı ölçüm istasyonundan alınmış olan 1 Kasım 2015 - 31 Ekim 2017 tarihleri arasındaki iki yıllık saatlik rüzgâr hızı verileri (17481 adet veri) kullanılarak analiz yapılmıştır. Öncelikle bu verinin belirli hız aralıkları için frekanslarının ( $f$ ), hız ortalamalarının ( $v_m$ ) ve olasılık yoğunluklarının ( $f_R$ ) hesaplanması gereklidir. İstanbul şehri için, belirtilen tarihler arasında en yüksek hız  $5.8 \text{ m/s}$  olarak gerçekleşmiş olup, analiz için  $1 \text{ m/s}$ 'lik hız aralıkları kullanılmıştır. Tablo 1'de analiz için gerekli değerler listelenmiştir.

Tablo 1. Ölçülmüş verilerin istatistiksel dağılımı

$i$	$v_i \text{ (m/s)}$	$f_i$	$v_{m,i} \text{ (m/s)}$	$f_R(v_i) = \frac{f_i}{\sum f_i}$
1	0-1	3406	0.660	0.1948
2	1-2	8213	1.421	0.4698
3	2-3	4977	2.331	0.2847
4	3-4	777	3.272	0.0444
5	4-5	96	4.286	0.0055
6	5-6	12	5.167	0.0007

Ölçülen gerçek veriler ve Rayleigh dağılımından elde edilen olasılık yoğunluk fonksiyonlarının değişimi Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızıyla değişimi

Şekil 3'te görülebileceği gibi, Rayleigh dağılımından elde edilen sonuçlar gerçek değerlere oldukça yakın çıkmıştır. Hız arttıkça bu yakınsamanın daha da arttığı görülmektedir. Tablo 2'de referans alınan iki yıllık dönem için ortalama hız ve ortalama rüzgâr gücü yoğunluğu ile olasılık yoğunluk fonksiyonuna ait korelasyon katsayısı değerleri verilmiştir. Rayleigh dağılımı hesaplamalarda gerçek ortalama hızı kullandığı için ortalama hızlar aynıdır. Rüzgâr gücü yoğunluğunda ise Rayleigh dağılımı ile bulunan sonuç gerçek durumdan yaklaşık %11.5 daha büyük çıkmıştır. Olasılık yoğunluk fonksiyonun karşılaştırma ölçütü ( $R^2$ ) ise Tablo 2'den de görüldüğü gibi 0.877 olarak gerçekleşmiştir.

Tablo 2. Gerçek değerler ile Rayleigh dağılımı sonuçlarının karşılaştırılması

Parametre	Gerçek	Rayleigh
$v_m$ (m/s)	1.632	1.632
$P_R$ (W/m <sup>2</sup> )	4.562	5.086
$R^2$	-	0.877

## 5. Sonuç

Ülkemizin yenilenebilir enerji potansiyelini belirlemek için çeşitli çalışmalar yapılmakta ve potansiyel atlasları oluşturulmaktadır. Enerji güvenliği açısından dışa bağımlılığı azaltmak ve fosil yakıt kaynaklarının olumsuz etkilerini en az seviyeye indirmek bağlamında yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yatırımların artması için teşvikler sağlanmaktadır. Bu çalışma ülkemizin potansiyel olarak sahip olduğu yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr enerjisi üzerine gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada; Rayleigh dağılım yöntemi kullanılarak İstanbul şehri için olasılık yoğunlukları ve ortalama rüzgâr gücü tahmin edilmiştir. Meteoroloji istasyonundan alınan iki yıllık saatlik rüzgâr hızı verisi yardımıyla tahminler yapılmış ve gerçek değerler ile Rayleigh dağılım fonksiyonundan elde edilen bu tahmini değerler karşılaştırılmıştır. Rayleigh dağılımının, olasılık yoğunluk tahmininde 0.877 korelasyon katsayısı ile güç yoğunluğunda ise %11.5 ile kabul edilebilir mertebede sonuçlar verdiği görülmüştür. Analizi yapılan iki yıllık dönem için geçerli olmak kaydıyla, bölgenin çok fazla rüzgâr almadığı, rüzgâr gücünün düşük olduğu tespit edilmiştir. Ancak daha uzun dönemde alınacak veriler ve yapılacak analizler farklı sonuçlar ortaya koyabilir.

## **Kaynakça**

- Bhattacharya, P., & Bhattacharjee, R. (2010). A study on Weibull distribution for estimating the parameters. *Journal of Applied Quantitative Methods*, 5, 234-241.
- Bilgili, M., Şahin, B., & Şimşek E. (2010). Türkiye'nin güney, güneybatı ve batı bölgelerindeki rüzgâr enerjisi potansiyeli. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 30, 01-12.
- Demir Yetiş, A., Gazigil, L., Yetiş, R., & Çelikezen, B. (2019). Hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyeli: Bitlis örneği. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 7 (1), 74-78.
- Doğanşahin, K., Uslu, A. F., & Kekezoğlu, B. (2019). İki Bileşenli Weibull Dağılımı ile Rüzgâr Hızı Olasılık Dağılımlarının Modellenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 315-326.
- Eren, M.V., Atay Polat, M., & Aydın, H. İ. (2016). Türkiye'de yapısal kırılmalı testlerle elektrik tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin analizi. *Akademik Bakış Uluslararası Hakemli Sosyal Bilimler Dergisi*, 56, 275-289.
- ETKB, (2018). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik> Erişim Tarihi: 12 Aralık 2018.
- Fidan, M.S., & Alkan, E. (2014). Bitkisel Hammaddelerden elde edilen biyodizelin alternatif enerji kaynağı olarak kullanılması. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4 (2), 144-160.
- Gülersoy, T., & Çetin, N.S. (2010). Menemen bölgesinde rüzgâr türbinleri için Rayleigh ve Weibull dağılımlarının kullanılması. *Politeknik Dergisi*, 13 (3), 209-213.
- Kaplan, Y.A. (2016). Rayleigh ve Weibull dağılımları kullanılarak Osmaniye bölgesinde rüzgâr enerjisinin değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20, 62-71.
- Kılıç, R., & Urgun, N. (2016). Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmenin ülke ekonomisine etkileri ve Türkiye'nin enerjideki dışa bağımlılığının azaltılmasına yönelik katkıları. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 47, 148-166.
- Kidmo, D.K., Danwe, R., Doka, S.Y., & Djongyang, N. (2015). Statistical analysis of wind speed distribution based on six Weibull methods for wind power evaluation in Garoua, Cameroon. *Revue des Energies Renouvelables*, 18, 105-125.
- Korukçu, M.Ö. (2011). Türkiye'de dört yerleşim yeri için rüzgâr enerjisi potansiyelinin belirlenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 16, 117-126.
- Kurban, M., Hocaoglu, F.O., & Kantar, Y.M. (2007). Rüzgâr enerjisi potansiyelinin tahmininde kullanılan iki farklı istatistiksel dağılımın karşılaştırmalı analizi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13 (1), 103-109.
- Kurnuç Seyhan, A., & Badem, A. (2018). Erzincan ilindeki hayvansal atıkların biyogaz potansiyelinin araştırılması. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 6 (1), 25-35.
- Mert, İ., Karakuş, C., & Peker, F. (2014). Antakya bölgesi rüzgâr karakteristiğinin incelenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 5 (1), 13-22.
- Şenel, M.C., & Koç, E. (2015). Dünya'da ve Türkiye'de rüzgâr enerjisi durumu-genel değerlendirme. *Mühendis ve Makina*, 56 (663), 46-56.
- TUREB, (2019). Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği, Türkiye rüzgar enerjisi istatistik raporu 2019, Ankara, 50p, [http://www.tureb.com.tr/files/bilgi\\_bankasi/turkiye\\_res\\_durumu/turkiye\\_ruzgar\\_enerjisi\\_istatistik\\_raporu\\_ocak\\_2019.pdf](http://www.tureb.com.tr/files/bilgi_bankasi/turkiye_res_durumu/turkiye_ruzgar_enerjisi_istatistik_raporu_ocak_2019.pdf) Erişim Tarihi: 17 Şubat 2019.
- WWEA, (2019). World Wind Energy Association, Wind power capacity worldwide reaches 600 GW, 53,9 GW added in 2018, <http://wwindea.org/blog/2019/02/25/wind-power-capacity-worldwide-reaches-600-gw-539-gw-added-in-2018/> Erişim Tarihi: 25 Şubat 2019.
- WWEA, (2018). World Wind Energy Association, Half-year statistics 2017, <http://wwindea.org/blog/2017/12/20/half-year-statistics-2017/> Erişim Tarihi: 21 Aralık 2018.



# Investigation of the Temperature Distribution of a Small Solar Chimney

Duygu Evin<sup>1</sup>, Aynur Ucar<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Firat University Engineering Faculty Mechanical Engineering Department, Elazığ, Türkiye

(İlk Geliş Tarihi 26 Haziran 2019 ve Kabul Tarihi 30 Ağustos 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.582533)

**ATIF/REFERENCE:** Evin, D. & Uçar, A. (2019). Investigation of the Temperature Distribution of a Small Solar Chimney. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 109-116.

## Abstract

Environmental friendly and sustainable energy policies are gaining importance day by day. A prototype solar chimney constructed in Elazığ is investigated experimentally in terms of temperature distribution and solar chimney efficiency. Elazığ is in the third degree day region where the temperature varies between -15 °C and +42 °C. The experimental results showed that the efficiency depends on height of the chimney and the temperature of ambient. The higher the height of the chimney, the more is the efficiency. However, the effect of ambient temperature on the efficiency seems to be very low. It was seen that, solar chimney system can be an alternative system for energy production under Elazığ conditions.

**Keywords:** Solar energy, Solar chimney power plants, Efficiency.

## Küçük Bir Güneş Bacasının Sıcaklık Dağılımlarının İncelenmesi

### Öz

Çevre dostu ve sürdürülebilir enerji politikaları gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Elazığ'da yapılan prototip bir güneş bacası, sıcaklık dağılımı ve güneş baca etkinliği açısından deneysel olarak incelenmiştir. Elazığ, sıcaklığın -15 °C ile +42 °C arasında değiştiği üçüncü derece gün bölgesindedir. Deneysel sonuçlar, güneş baca yüksekliğinde bir artışla verimliliğin arttığını göstermiştir. Verim, baca yüksekliğine ve ortam sıcaklığına bağlıdır. Baca yüksekliği ne kadar yüksek olursa verimlilik o kadar fazla olur. Bununla birlikte, ortam sıcaklığının verimlilik üzerine etkisi çok düşük görünmektedir. Güneş baca sisteminin Elazığ şartlarında enerji üretimi için alternatif bir sistem olabileceği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş enerjisi, Güneş bacalı güç sistemleri, Verim.

## 1. Giriş

Today, about 75% of global energy consumption is provided from fossil fuels that cause climate change and various environmental problems. (Jamali et al., 2019). It is estimated that, the current world energy requirements can be supplied by renewable energy by more than 3000 times with more than 93% from solar energy (Ellabban et al., 2014).

Due to its geographical location, Turkey has a better chance compared to other countries in terms of its solar energy potential. Turkey has an average annual time of 2640 hours (7.2 hours per day) and an average annual solar radiation of 1311 kWh/m<sup>2</sup>-year (3,6 kWh/m<sup>2</sup> per day) (EİE, 2006). Since solar energy is an inexhaustible and inexpensive source of energy and does not harm the environment, the use of solar energy is becoming more common.

<sup>1</sup> Sorumlu Yazar: Firat University Engineering Faculty Mechanical Engineering Department, Elazığ, Türkiye, ORCID: 0000-0001-5973-3741, [aucar@firat.edu.tr](mailto:aucar@firat.edu.tr)



The idea of the solar chimney was first introduced by Schlaich in the late 1970s. Then, the construction of a pilot plant in Manzanares, Spain was started. This pilot plant with a power capacity of 50 kW has produced electricity for 7 years.

Increasing use of solar energy has been effective in the development of solar chimney technology in recent years. A solar chimney system typically comprises of three important components, a chimney, a solar collector, and a turbine.

A solar chimney power plant was analyzed in the Arabian Gulf region (Hamdan, 2011). The analysis indicated the most essential physical factors for the design of a solar chimney are the height of the chimney and the turbine pressure head.

An improved solar chimney concept to produce electricity with low-grade heat in thermal power plants was performed by Ghorbani et al. (2015). Their results indicate a maximum of 0.538% rise for the thermal efficiency of the power plant with fossil fuel.

A simulation for the full-year power capacity of a conventional and a sloped solar chimney power plant with maximum solar radiation angle and maximum power generation angle were performed by Cao et al. (2018). It was concluded that the two important factors which influence the sloped solar chimney power plant's power capacity and accumulated power generation were the temperature rise of the air in the solar collector and the system height.

Prakash et al. (2019) made some design configurations for conventional solar air heaters to improve the thermal efficiency. Among the designs investigated, the highest average value of thermal efficiency of 16.5% was achieved by the forced induced glazed air heater with fins in solar chimney.

Solar chimneys were also used for cooling purposes (Jamali, 2019). Jamali et al. (2019) investigated a solar chimney for cooling a semi-transparent photovoltaic power plant for five different cities with various climates, thermally and economically.

There are studies investigating the effects of ground materials (Al-Azawie et al., 2014), wind speed and direction (Aja et al. 2013), the usage of phase change materials (Li and Liu, 2014), geometrical effects (Kasaeian A. 2014, Ming et al. 2013) and air humidity (Ninic 2006) on the performance of solar chimneys. An updated review on solar chimneys has been provided by Kasaeian, 2017.

In this study, a solar chimney was constructed in Elazig in the third degree day region of Turkey. The temperature distribution and power generation of the system is investigated experimentally.

## **2. Material and Method**

### **2.1. Experimental Set-Up and Procedure**

Solar chimney is a thermal system developed to obtain electrical energy from solar energy. There are three basic principles in the solar chimney system. These are greenhouse effect, chimney draft generated by the difference in density and temperature, and the kinetic energy.

A solar chimney system typically comprises of three main parts, a solar collector, a chimney and a turbine. Solar radiation collected by the solar collector and the greenhouse effect to warm up the air below the transparent collector roof are used by the system. A large pressure difference occurs between the system and the ambient air because of a temperature and consequently a density difference between the inside and outside of the chimney and this drives the wind turbine settled in the chimney for generating electricity. A prototype solar chimney plant was constructed and mounted on the flat roof of Mechanical Engineering Department of Firat University in Elazig, Turkey. Schematics and the assembly of the solar chimney are shown in Figure 1 and 2, respectively.

The collector, which was made of glass, has a diameter of 3.5 m. The chimney's height is 3 m and diameter is 0.2 m. The dimensions and the measurement points are given in Figure 1. A turbine was placed into the chimney. Thermocouples were mounted at the different measurement points of collector and along the chimney. The voltage and current measurements were provided by a voltmeter. The experiments were conducted on May 2017.

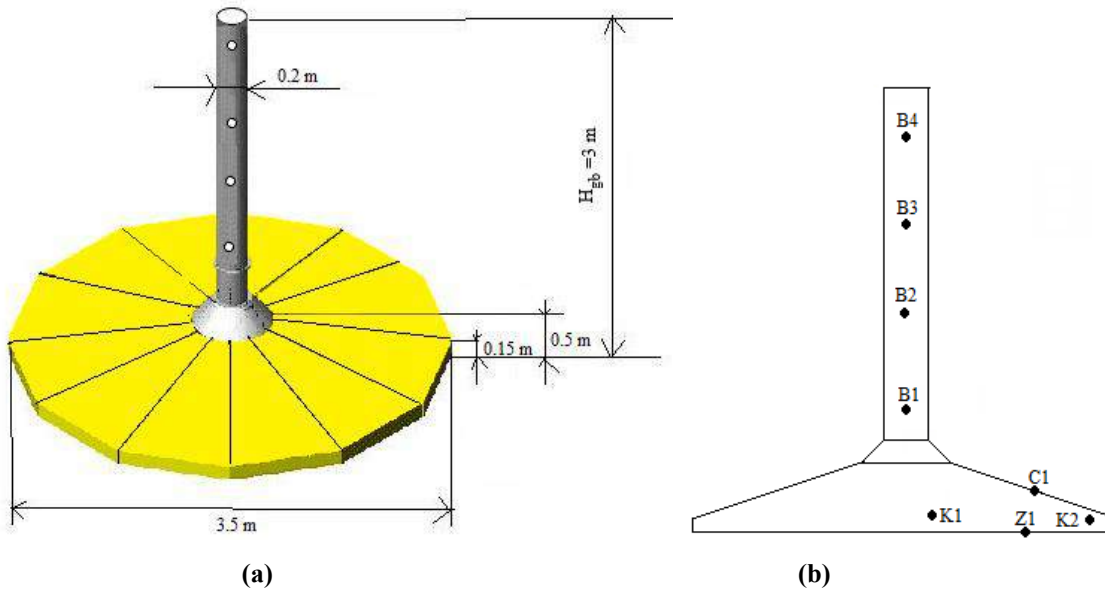


Figure 1. Schematics of the Solar Chimney (a) Dimensions (b) Measurement points



Figure 2. Assembly of the solar chimney

## 2.1. Teorical Model

In general, the output power of the solar chimney is calculated by multiplying the solar energy entering the system with total efficiency (Schlaich et al., 2005):

$$P = Q \eta_{tot} \quad (1)$$

Here; P is the output power of the solar chimney. Solar energy entering the system and the total efficiency are represented by Q and  $\eta_{tot}$ , respectively. The total efficiency consists of collector, chimney and turbine efficiencies. If equation (1) is rearranged (Schlaich et al., 2005),

$$P = Q \eta_{col} \eta_{ch} \eta_{tr} \quad (2)$$

Here,  $\eta_{col}$ ,  $\eta_{ch}$  and  $\eta_{tr}$  are collector efficiency, flue efficiency and turbine efficiency, respectively. Collector efficiency can be determined as below (Parthasarathy and Pambudi, 2019).

$$\eta_{col} = \frac{\dot{m} c_p \Delta T}{A_{col} I} \quad (3)$$

where  $\eta$  and  $m$  are the collector efficiency and air mass flow rate (kg/s), respectively.  $c_p$  represents the specific heat capacity of the hot air (kJ/kg K) while the temperature difference between the hot air and ambient air is represented by  $\Delta T$  (K).  $A_{col}$  and  $I$  are the solar collector area (m<sup>2</sup>) and radiation intensity (W/m<sup>2</sup>), respectively.

Using the equation below the mass flow rate ( $m$ ) can be calculated (Parthasarathy and Pambudi, 2019).

$$\dot{m} = \rho A v \tag{4}$$

where  $\rho$  indicates the density (kg/m<sup>3</sup>),  $A$  and  $v$  represent the outlet hot air vent area (m<sup>2</sup>) and hot air velocity (m/s), respectively.

Solar chimney's efficiency can be determined from (Schlaich et al., 2005)

$$\eta_{ch} = \frac{g H_{ch}}{c_p T_0} \tag{5}$$

Here, the gravitational acceleration is indicated by  $g$ .  $H_{ch}$  is the chimney height and  $T_0$  is temperature of ambient.

Assuming that the air flow in the chimney is uniform, the maximum air velocity in the chimney can be calculated as,

$$V_{ch,max} = \sqrt{2 g H_{ch} \frac{\Delta T}{T_0}} \tag{6}$$

where  $\Delta T$  is the temperature difference between the chimney entrance (collector exit) and the ambient.

### 3. Results

Fig. 3 shows hourly variations of the solar radiation for Elazığ city. The maximum solar radiation is found at maximum value at 13:00 PM and recorded a value of 539.76 W/m<sup>2</sup>. The temperature variation along the chimney with time is given in Figure 4. As can be seen from the figure, the temperature along the height of the chimney ranges from 29 to 40 ° C and reaches the maximum value at 11:50. The measurements, at the same day at specified hours at the specified points and heights showed that temperature at B1 point reaches the maximum value.

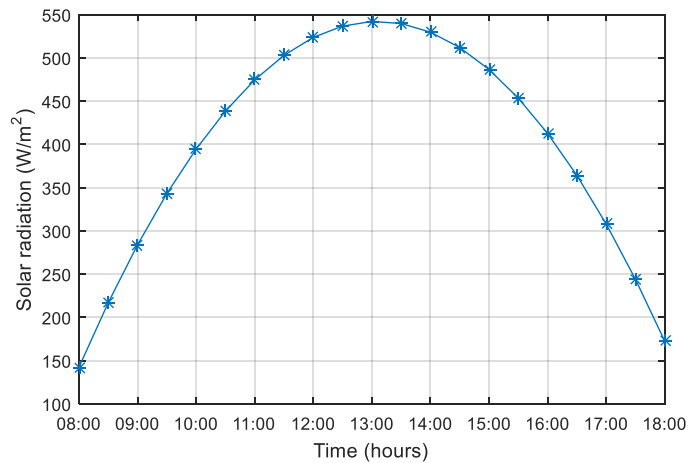


Fig. 3. Hourly variation of solar radiation for Elazığ.

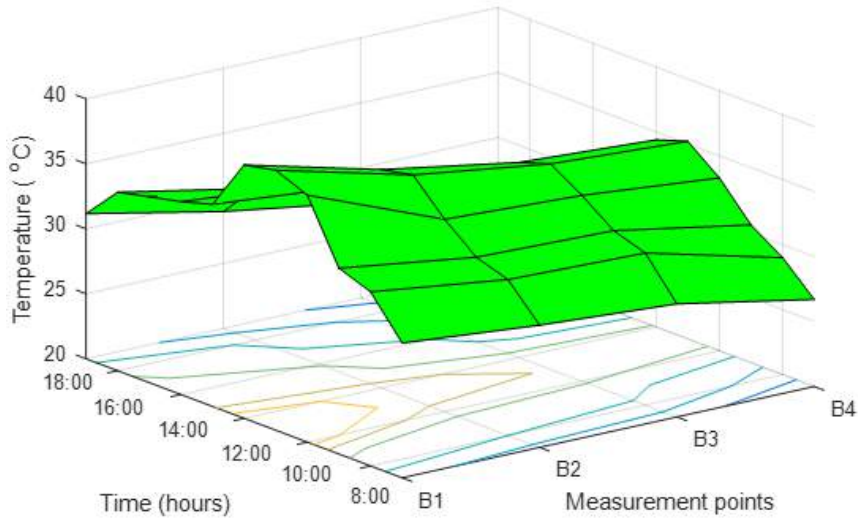


Figure 4. The temperature variation along the chimney with time

Figure 5 and 6 show the temperature distribution inside the collector, at the glass and floor and temperature variation at all measuring points with time, respectively. The lowest temperature in the collector is measured as 29.1°C while the highest one is 40.2°C. As can be seen from the figures an increase in solar radiation causes an increase in the temperature of measured points. It is seen that the ground temperatures rises to 50°C and the glass temperature rises to 46.5°C.

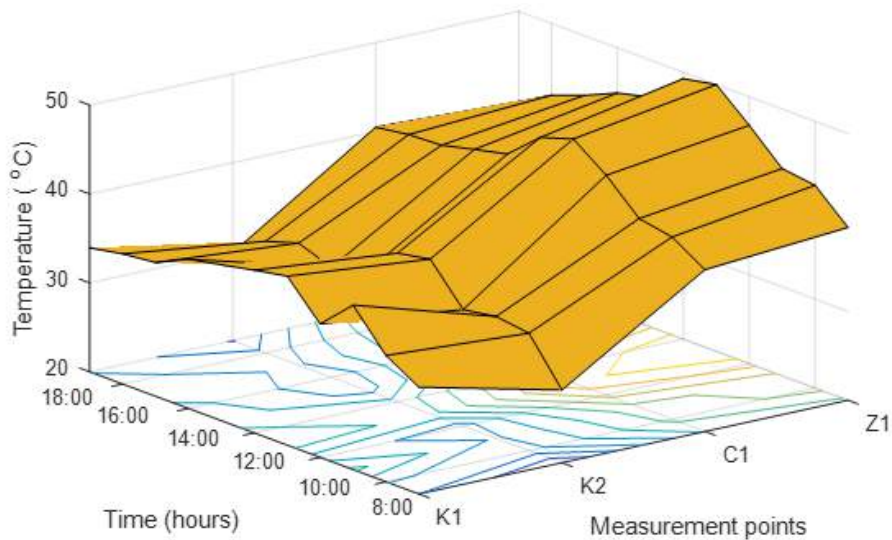


Figure 5. The temperature variation in the collector, at the glass and ground with time

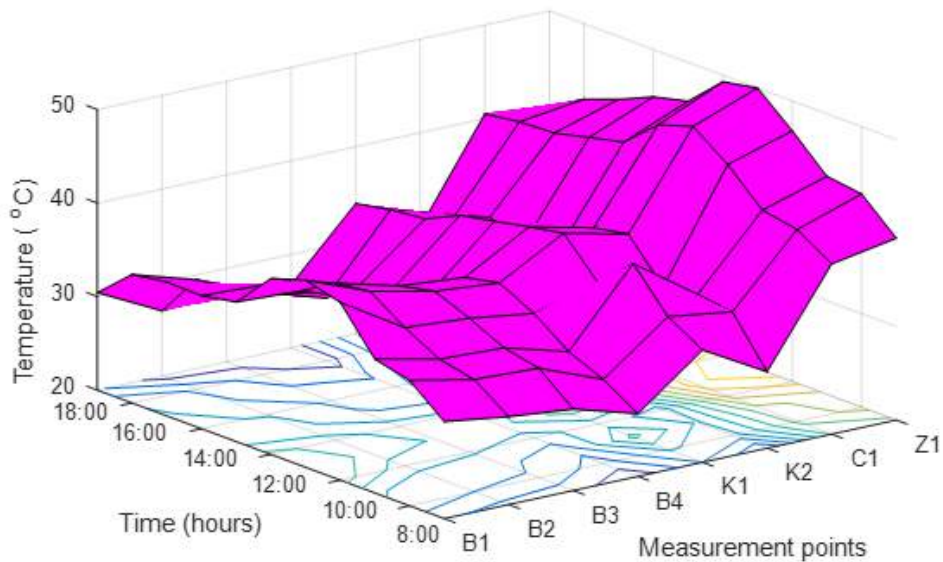


Figure 6. The temperature variation at all measurement points with time

Figure 7 shows the velocity change with time along the chimney. It is seen that the velocity increases with time. The rise of the heated air in the collector is directly proportional to the temperature increase in the collector and the diameter and the chimney height. The air in the collector flows from the collector into the vertical chimney and then discharged to the environment because of the density difference between the heated air in the collector and the ambient air. Therefore, as the solar radiation to the collector increases, the air temperature in the chimney increases because of the temperature increase of the air in the collector.

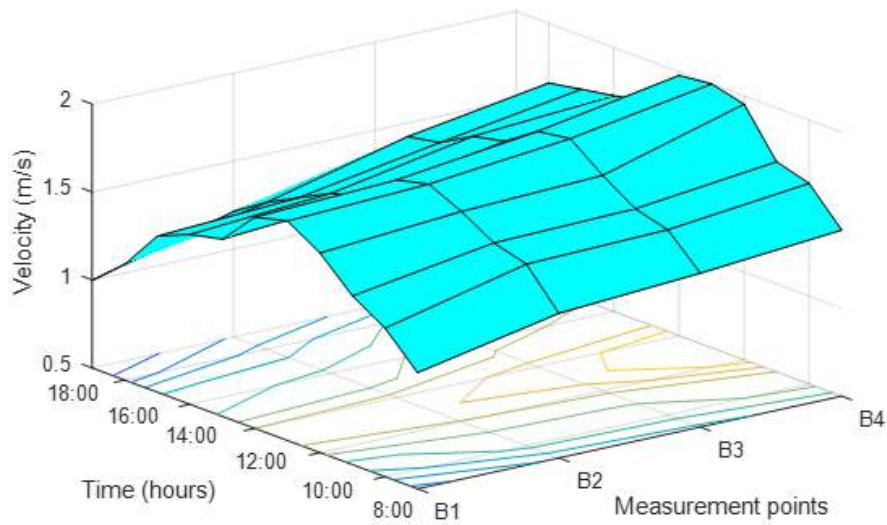


Figure 7. The velocity variation along the chimney with time

The variation of the solar chimney efficiency with the chimney height and ambient temperature is given in Figure 8. The efficiency depends on the chimney height and the ambient temperature. The higher the height of the chimney, the more is the efficiency. However, the effect of ambient temperature on the efficiency seems to be very low.



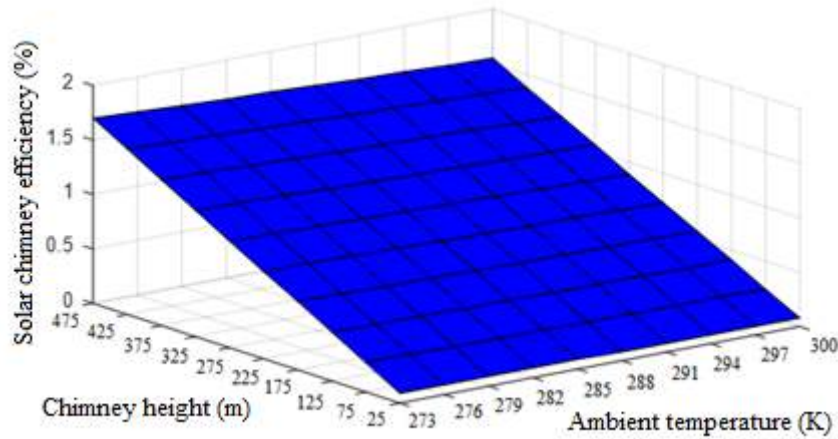


Figure 8. Variation of solar chimney efficiency with chimney height and ambient temperature

## 4. Conclusion

With the increasing sensitivity to environmental pollution in the world, there are constantly new searches to meet the increasing energy needs. Solar chimney power plants make positive environmental and economic contributions to the reduction of fossil fuel use through solar energy. In this study, thermal performance of a prototype solar chimney established in the campus area of Firat University was investigated. The experimental results showed that efficiency increased with an increase in the height of the solar chimney. Besides, the velocity of the air in the chimney increased due to the increase in temperature in the solar collector. Elazig is a city in eastern Anatolian which has an annual average radiation intensity of 1365 kWh/m<sup>2</sup> and has 2664 hours sunshine duration. Therefore, solar chimney system can be an alternative system for energy production under Elazig conditions and a solar chimney power plant can be established in this region.

## Nomenclature

$A$	outlet hot air vent area (m <sup>2</sup> )
$A_{col}$	solar collector area (m <sup>2</sup> )
$c_p$	specific heat capacity of the hot air (kJ/kg K)
$H_{ch}$	chimney height (m)
$I$	radiation intensity (W/m <sup>2</sup> )
$\dot{m}$	air mass flow rate (kg/s)
$P$	output power of the solar chimney (Pa)
$v$	hot air velocity (m/s)
$V_{ch,max}$	maximum air velocity in the chimney
$T_0$	temperature of ambient (K)
$\Delta T$	temperature difference
$\rho$	density (kg/m <sup>3</sup> )
$\eta_{top}$	total efficiency
$\eta_{col}$	collector efficiency

## References

- Aja, O. C., Al-Kayiem, H. H., Abdul Karim, Z. A. (2013). Experimental investigation of the effect of wind speed and wind direction on a solar chimney power plant. *The Sustainable City*: 179, 945-955.
- Al-Azawie, S. S., Hassan, S., Zammeri, M. F. (2014). Experimental and numerical study on ground material absorptivity for solar chimney power applications. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*: 186, 219–230.
- Cao, F., Liu, Q., Yang, T., Zhu, T., Bai, J., Zhao, L. (2018). Full-year simulation of solar chimney power plants in Northwest China. *Renewable Energy*: 119, 421-428.

- Ellabban, O., Abu-Rub, H., Blaabjerg, F. (2014). Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renew. Sustain. Energy Rev.*: 39, 748–764.
- Ghorbani, B., Ghashami, M., Ashjaee, M., Hosseinzadegann H. (2015). Electricity production with low grade heat in thermal power plants by design improvement of a hybrid dry cooling tower and a solar chimney concept. *Energy Conservation and Management*: 94, 1-11.
- Hamdan, M.O. (2011). Analysis of a solar chimney power plant in the Arabian Gulf region, *Renewable energy*: 36, 2593-2598.
- Jamali, S., Nemati, A., Mohammadkhani, F., Yari, M. (2019). Thermal and economic assessment of a solar chimney cooled semitransparent photovoltaic (STPV) power plant in different climates. *Solar Energy*: 185, 480–493.
- Kasaecian, A.B., Molana, S., Rahmani, K., Wen, D. (2017). A review on solar chimney systems. *Renew. Sustain. Energy Rev.*: 67, 954-987.
- Kasaecian, A., Ghalamchi, Mehran., Ghalamchi, M. (2014). Simulation and optimization of geometric parameters of a solar chimney in Tehran. *Energy Conversion and Management* 83: 28–34
- Li, Y. and Liu, S. (2014). Experimental study on thermal performance of a solar chimney combined with PCM. *Applied Energy*: 114, 172-178
- Ming, T., Gui, J., Richter, R. K., Xu, G. (2013). Numerical analysis on the solar updraft power plant system with a blockage, *Solar Energy*: 98, 58–69.
- Ninic, N. (2006). Available energy of the air in solar chimneys and the possibility of its ground-level concentration, *Solar Energy*; 80, 804-811.
- Parthasarathy, P., Pambudi, N.A. (2019). Performance study of a solar chimney air heater. *Case Studies in Thermal Engineering*: 14, 100437.
- Schlaich, J., Bergermann, R., Schiel, W., Weinrebe, G. (2005). Design of Commercial Solar Updraft Tower Systems—Utilization of Solar Induced Convective Flows for Power Generation. *Journal of Solar Energy Engineering of ASME*: 127, 117-124.,



# Engineering Properties and Sustainability Assessment of Recycled Glass Sand Concrete

Sevket Can Bostancı<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>European University of Lefke, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Lefke, Northern Cyprus, TR-10, Mersin, Turkey (ORCID: 0000-0002-1493-6147)

(First received 1 August 2019 and in final form 3 September 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.599831)

**ATIF/REFERENCE:** Bostancı, S. C. (2019). Engineering Properties and Sustainability Assessment of Recycled Glass Sand Concrete. *European Journal of Science and Technology*, (17), 117-130.

## Abstract

Reduction in the availability of natural raw materials is forcing concrete industry to adopt environmentally friendly approaches. Utilization of recycled materials in concrete production has become a popular approach to lessen the environmental footprint of the concrete production. Glass is one of the most consumed materials that can be easily collected and recycled. Glass use in concrete production may potentially reduce the amount of natural raw materials used in concrete production and prevents the use of virgin lands for landfilling purposes. Reported work initially investigates the fresh and hardened performances of recycled glass sand (RGS) incorporated concrete and further sustainability analysis was also carried out. As an initial attempt for this particular research, natural sand was replaced by 10% RGS in aiming to assess their suitability from the environmental and economical sustainability point of view. In this regard, concretes made with partially substituted RGS (10% by mass replacement) with equivalent 28-day compressive cube strengths of 30 N/mm<sup>2</sup> and 45 N/mm<sup>2</sup> were produced.

The results showed that the use RGS could improve concrete fresh properties slightly. Use of RGS by 10% as a replacement to natural fine aggregate was observed to reduce compressive strength at early ages by approximately 10% and 14% but strength losses were minimized to 0.6% and 10.5% for 30-RGS and 45-RGS respectively at 28-days compared to conventional concrete mixes. Ultrasonic pulse velocity results showed that RGS incorporation provide either similar or denser matrix compared to conventional mixes. Results indicated that use of RGS as a fine aggregate replacement could lead to environmentally sustainable concrete production if it is supplied within range of 14.4 km based on eCO<sub>2</sub> emissions. It is also revealed that RGS could provide cost-efficient concrete production on the condition of supplied from closer facilities.

**Keywords:** Recycled glass sand, Sustainability, Ultimate compressive strength, Ultrasonic pulse velocity

## Geri Dönüştürülmüş Cam Kumlu Betonun Mühendislik Özellikleri ve Sürdürülebilirlik Değerlendirmesi

### Öz

Doğal hammadde mevcudiyetindeki azalma, beton endüstrisini çevre dostu yaklaşımlar benimsemeye zorlamaktadır. Beton üretiminde geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanılması, beton üretiminin çevresel ayak izini azaltmak için popüler bir yaklaşım haline gelmiştir. Cam, kolayca toplanıp geri dönüştürülebilen en çok tüketilen malzemelerden biridir. Beton üretiminde cam kullanımı, beton üretiminde kullanılan doğal hammadde miktarını potansiyel olarak azaltabilir ve atık gömme için kullanılan bakır arazilerin depolama amacıyla kullanılmasını önler. Rapor edilen çalışma başlangıçta geri dönüştürülmüş cam kumu kullanılarak üretilen betonun taze ve sertleşmiş performansını araştırmış ve daha sonra da çevresel ve ekonomik sürdürülebilirlik açısından uygunluklarını değerlendirmek için sürdürülebilirlik analizi de yapılmıştır. Bu bağlamda, 30 N/mm<sup>2</sup> ve 45 N/mm<sup>2</sup> eşdeğer 28 günlük basınç dayanımına sahip kısmen cam kumu ikame (ağırlıkça %10) edilerek yapılan betonlar üretilmiştir.

\* Corresponding Author: European University of Lefke, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Lefke, Northern Cyprus, TR-10, Mersin, Turkey, ORCID: 0000-0002-1493-6147, [sevketbostanci@yahoo.com](mailto:sevketbostanci@yahoo.com)

Sonuçlar, geri dönüştürülmüş cam kumu kullanmanın, betonun taze özelliklerini bir miktar iyileştirebileceğini göstermiştir. Geri dönüştürülmüş cam kumunun doğal ince agreganın yerine %10 oranında kullanılmasının, erken yaşlarda basınç dayanımını yaklaşık %10 ve %14 oranında azalttığı gözlenmiştir, ancak basınç kayıplarının 30-RGS ve 45-RGS için normal beton karışımlarına kıyasla sırasıyla 28 günde % 0.6 ve % 10.5'e düştüğü gözlemlenmiştir. Ultrases geçiş hızı sonuçları, geri dönüştürülmüş cam kumu kullanımının, normal karışımlara kıyasla benzer veya daha yoğun matris sağladığını gösterdi. Sonuçlar, geri dönüştürülmüş cam kumunun iyi bir agrega değişimi olarak kullanılmasının, 14,4 km'lik bir alanda tedarik edilmesi halinde çevresel olarak sürdürülebilir beton üretimine katkı sağlayabileceğini göstermiştir. Ayrıca geri dönüştürülmüş cam kumu, daha yakın tesislerden tedarik edilmek koşuluyla uygun maliyetli beton üretimi sağlayabildiği de ortaya çıkmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Geri dönüşümlü cam kumu, Sürdürülebilirlik, Basınç dayanımı, Ultrases geçiş hızı

## 1. Introduction

Concrete is the second most consumed material in the world after water (Gagg, 2014). It is estimated that approximately 4.4 billion tonnes of concrete is being produced annually for different applications (Hilburg, 2019). Even though concrete is known to be more environmentally friendly amongst construction materials, its contribution to global CO<sub>2</sub> is ranged between 4-8% (Watts, 2019). Portland cement (PC) is responsible for approximately 90% of these emissions and aggregates are treated as low carbon constituent in concrete production (Mineral Products Association, 2019). In addition, aggregate characteristic is one of the key factors in determining the rigidity, stiffness and volumetric stability (Alexander and Mindness, 2010). Using high volumes of natural aggregates in concrete production has significant negative impact on the environment as availability of high quality natural sand is running low (Hajimohammadi, 2018). A market research reported 47 billion tonnes of aggregates were used in the construction industry in 2018 and it is expected to reach 63 billion tonnes by 2024 (Persistence Market Research, 2019). Sustainable development requires preservation of natural resources. Waste product use in concrete production is a globally well accepted approach to encourage sustainability in concrete industry. In addition to this, developing countries started to increase the pressure on concrete suppliers by increasing the taxes on natural material extraction in order to encourage the use of recycled materials use in concrete production. This fact could also lead to production of economically friendly concrete production when waste materials are utilized. In order to be environmentally friendly approach, concrete constituents should be locally available due to collection and transportation of these material could contribute to embodied CO<sub>2</sub> emissions and cost of final product which could result in an unsustainable concrete production. Several waste materials have been utilized in either cement paste or concrete to minimize the environmental destruction through concrete production (Aydin, 2019; Bilir, 2015; Demirel, 2019; Gesoglu, 2017; Uçal, 2018; Ulubeyli, 2017).

The effects of the recycled or waste glass on the concrete fresh and hardened properties are not yet clear. According to Limbachiya (Limbachiya, 2009), fresh properties of concrete could be negatively affected when natural fine aggregates were replaced by 30% recycled glass sand (RGS). Rashid (Rashid, 2018) reported reduction in slump as the glass waste content increased. Adaway (Adaway, 2015) found that 15% glass replacement level as fine aggregate increased the slump slightly. A study by Soliman (Soliman, 2017) reported improvements in fresh properties with higher RGS replacement levels. In addition to these, Sadiqul Islam (Sadiqul Islam, 2017) reported a gradual increase in fresh properties when PC is replaced by glass powder up to 25% replacement levels. In contrast to that, Bourgiba (Bourgiba, 2017) reported decreased workability when recycled sand is introduced due to higher porosity of the recycled sand. In addition, a study by Tan (Tan, 2013) showed that similar fresh properties as conventional mix can be achieved when 25% green RGS is used. Same study also reported reduction in fresh properties when RGS is increased due to having sharp edges and angular shape which required more water to coat the mix. However, Ling (Ling, 2011) claimed that recycled glass (RG) mixes improved fresh properties due to the fact that RG was coarser than natural sand led to lower water absorption and thereby lower water demand.

A study by Tan (Tan, 2013) revealed reduction in fresh density as the RGS content increased. Similar finding was also noted by Ismail (Ismail, 2009). From the hardened properties point of view, Rashid (Rashid, 2018) reported slight reductions for the bulk density as the glass waste content is increased. 2% reduction was observed when 30% of glass waste was used. Hajimohammadi (Hajimohammadi, 2018) found similar density between conventional and glass utilized samples. Another study by Guo (Guo, 2018) revealed that use of glass aggregates with 100% replacement level led to reduction in hardened density due to lower specific gravity of glass compared to natural sand. Up to 3% of reduction in unit weight was noted by Soliman (Soliman, 2017) when natural sand was fully replaced by RGS. Penacho (Penacho, 2014) explained the reduction of glass utilized mortars which could be due to angular shaped of RGS led to reduction in the bulk density of RGS compared to natural sand.

As far as the ultimate compressive strength (UCS) is concerned, Sadiqul Islam (Sadiqul Islam, 2017) reported that use of RG powder as a PC replacement which is finer than 100 µm size increase pozzolanic reactivity of glass and could improve mechanical and durability performances of glass incorporated concrete. Pozzolanic contribution of glass either as a sand (Arulrajah, 2017; Bostanci, 2018; Corinaldesi, 2016; Guo, 2018; Hajimohammadi, 2018; Harbi, 2017; Idir, 2011; Ling, 2011; Nunes, 2013; Paul, 2018; Penacho, 2014; Rashid, 2018; Soliman, 2017) or cement (Carsana, 2014; Du, 2017; Paul, 2018) replacements was reported earlier. Özkan (Özkan, 2008) also reported that the effect of glass on the strength development increased when it is finely ground. Limbachiya (Limbachiya, 2009) reported that similar strengths could be achieved with 20% replacement levels of RGS. However, a study by Özkan (Özkan, 2008) reported that either similar or higher UCS values can be achieved at 7 and 28 days with 10% RGS replacement levels. Siad (Siad, 2018) stated that RG powder with average grain size of 20 µm acted as a catalyst rather than pozzolanic property and contributed to early strength development. Another study by Rashid (Rashid, 2018) observed that use of waste glass with nominal

aggregate size of 20 mm reduced the UCS at 7 and 28 days as the glass waste increased. However, strength loss of 10% waste glass mix was observed to be negligible. Afshinnia (Afshinnia, 2016) reported that decrease in UCS which is believed to be due to weaker bond between the cement and aggregate pastes. A review study by Paul (Paul, 2018) stated that 20% of RG used either as aggregate or cement replacement did not have any significant effect on the UCS. Harbi (Harbi, 2017) stated that reduction in UCS could be linked with the lower density of the glass and thus not able to fill the pores. A study by Hajimohammadi (Hajimohammadi 2018, Hajimohammadi 2018) revealed that using 30% glass fines with dimensions between 0.4 to 2 mm contributed to early strength development at 7 days. However, same mix resulted in lower strength development between 7 and 14 days but higher strength development between 28 and 56 days. In addition, Penacho (Penacho, 2014) found that RGS replacement up to 50% improves the UCS. Guo (Guo, 2018) used 100% glass replacement to natural sand with glass aggregates being finer than natural sand and found significant reductions in strength development up to 28 days. Similar trend was also observed for Soliman (Soliman, 2017) that 100% replacement level by RGS led to reduction in UCS considerably due to rough and elongated nature of RGS.

From the economical point of view, Siad (Siad, 2017) stated that use of RGS could provide cost efficient concrete. Soliman (Soliman, 2017) reported 4% and 11% reductions, excluding the transportation of materials, in cost for both 50% and 100% RGS replacement levels respectively. Soliman also reported that further reductions can be achieved if locally available materials are used.

There is no specific agreement on the use of RGS and its effect on both fresh and hardened properties. In addition, there are few data on the feasibility of using RGS in concrete production as a replacement to fine aggregates from the environmental and economical sustainability point of view. In the light of these, this particular research focusses on two different strength class concrete mixes made with 10% partially replaced RGS as a replacement to natural fine aggregates. Environmental and economical sustainability analyses were also carried out to identify under which conditions RGS use in concrete could be an environmentally friendly and economically viable approach on the course of sustainable development.

## 2. Experimental Programme

The research programme was carried out considering fresh and mechanical performances, environmental assessment and finally practical implications.

### 2.1. Materials

Portland cement was used for the production of control mixes in conformity with TS EN 197-1 (Turkish Standards Institution, 2012). The Blaine fineness of the PC was 305 m<sup>2</sup>/kg and its specific gravity was 3.15. Natural aggregates were obtained from the local suppliers. A single brand recycled bottles was collected and RGS was obtained through this domestic waste. Then, glass bottles were broken and sieved through 5.6 mm sieve sized. Prior to mixing, RGS was washed and left to surface dry then RGS was used in concrete production in a saturated surface dry state. Natural sand and gravel used were having nominal sizes of 5.6 mm and 22.4 mm respectively in conformity with TS 706 EN 12620+A1 (Turkish Standards Institution, 2009). Physical and mechanical properties of the aggregates used are given in Table 1. Grading of aggregate types used is given in Figure 1. MasterGlenium 126, a Polycarboxylic ether based versatile superplasticizer, was used as an admixture in conformity with TS EN 934-2.

Table 1. Physical and mechanical properties of aggregates used

Physical Properties (TS EN 1097, part 6)	Type of aggregates		
	Gravel	Sand	
		Natural	Recycled
Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	1.65	1.52	1.50
Apparent density (kg/m <sup>3</sup> )	2.76	2.71	2.61
Water absorption capacity (%)	1.13	0.12	1.40
Specific gravity	2.74	2.69	2.59



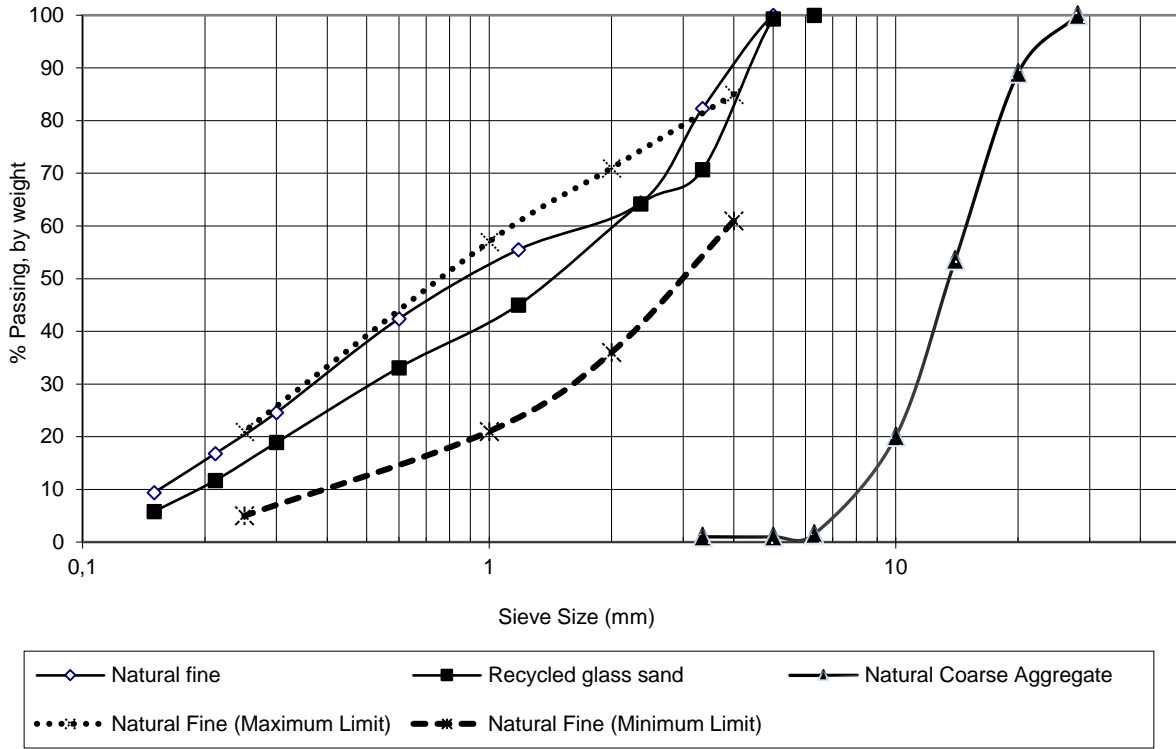


Figure 1. Particle size distribution of natural and recycled aggregates used in this study

**2.2. Mix Proportions and Concrete Mix Design**

Quantities of constituents were determined through using Building Research Establishment mix design method. Following this, trial mixes were carried out to achieve 28-day cube design strength of 30 and 45N/mm<sup>2</sup>. Mix designs were based on the relative density of the natural gravel. Concrete densities were kept constant as 2325 kg/m<sup>3</sup> for all mixes. Mixes were aimed to have workability class of S2 class in accordance with TS EN 206:2013+A1 then water/cement (w/c) ratios were computed as 0.45 and 0.64 for 30 and 45 N/mm<sup>2</sup> 28-day cube design strength concretes respectively. Total cement and aggregate contents were kept the same for both concrete grades. First mixes cast were made with PC and natural gravel and sand aggregates. Then, second mixes were made with PC, natural gravel and sand but natural sand was replaced by RGS with replacement level of 10% on mass basis. Based on target workability, admixture contents were kept as 0.5% of PC content for all mixes. Mixes were denoted as 30-NA and 45-NA whilst RGS utilized mixes were denoted as 30-RGS and 45-RGS 30 and 45N/mm<sup>2</sup> 28-day cube design strength concretes respectively. Mix proportions established for both strength class concrete mixes are provided in Table 2.

Table 2. Mix design of concrete mixes

Strength class	Mixes	Water	PC	Mix Proportions (kg/m <sup>3</sup> )		Gavel	Admixture
				Aggregates			
				Natural	RGS		
C30	NA	215	335	965	-	810	1.68
	RGS	215	335	870	95	810	1.68
C45	NA	220	490	825	-	790	2.45
	RGS	220	490	740	85	790	2.45

**2.3. Test Procedures**

Concrete production and testing were carried out in conformity with TS EN 12350:2010 Parts 1(TSE, and 2. Following this, slump test for each mix was carried out. Cast mixes were then weighted for the fresh density determination. Concrete mixes were then covered with polythene sheets for 24 hours to maintain moist condition. Mixes were demoulded and water cured until the testing age

in conformity with TS EN 12390-2:2010. Hardened properties investigated were UCS, Schmidt Hammer and Ultrasonic Pulse Velocity (UPV). UCS development of developed mixes was determined at 1, 7, 14 and 28 days through 150 mm cube samples in accordance with TS EN 12390-3:2010. Schmidt Hammer and UPV tests were performed at 28 days. Prior to UCS test, same samples were used for non-destructive Schmidt Hammer testing. 150 mm cubes were also used for the determination of UPV test results.

## 2.4. Sustainability Assessment

Sustainability performances including environmental, economical and social aspects were also evaluated for the developed mixes. Environmental and economical sustainability assessments were carried out considering European University of Lefke as the production site and transportation distance were taken into account accordingly. Environmental sustainability covered the eCO<sub>2</sub> emissions calculations which are based on the information provided by the relevant stakeholders and the available data.

The eCO<sub>2</sub> emissions were obtained depending upon the quantity and the value that is obtained for each material. In addition, eCO<sub>2</sub> emissions were also calculated based on the distance from the place of collection and casting site, European University of Lefke. For concrete constituents PC is imported from Turkey. This requires PC to be transported to port from the extraction and then through seaway to North Cyprus. This is followed by transportation from port to silo, storing in silo and then transporting to the casting site. Emission based on PC use is worked out in collaboration with Kascon Readymix Concrete Company. In addition, eCO<sub>2</sub> emissions for the extraction of natural aggregates were calculated based on the existing literature and also in collaboration with the local supplier Üstaş Ltd. Table 3 gives the equivalent eCO<sub>2</sub> emissions of constituents used based on the embodied energy generated for the extraction and production of each constituent.

The eCO<sub>2</sub> emission value of RGS for production is used as 0.164 kg CO<sub>2</sub> per batch due to energy use during crushing process of RGS. This value was calculated based on the national energy tariff, energy consumption of test equipment and duration of crushing. Total eCO<sub>2</sub> emission for transportation is used as 9.33 kg CO<sub>2</sub> regardless of the quantity of RGS used. This value was calculated based on the CO<sub>2</sub> emissions of light duty vehicle and transportation distance from the collection point to production site (European Parliamentary Research Service, 2018).

Cost analysis also based on the relevant information provided by the relevant stakeholders and up-to-date petrol tariffs regarding to transportation costs. Cost of materials and their transportation distances are given in Table 4. Cost calculations were also carried out following the same approach as the eCO<sub>2</sub> emission calculations. Based on the environmental and economical assessments, suggestions were provided to state under which circumstances these materials can be environmentally and economically efficient approaches. Social aspect is also investigated based on the growing social concern on the quarrying of natural raw materials.

Table 3. eCO<sub>2</sub> emissions for the production of materials used

Process	Materials	eCO <sub>2</sub> emission (kg CO <sub>2</sub> /kg)
Production	Aggregates	*0.005 <sup>(1)</sup>
	Portland cement	*0.710 <sup>(1)</sup>
	Water	*0.000155
	Admixture	*0.0022
Transportation	Aggregates	*0.32
	Portland cement (through mainland transportation)	*0.32 <sup>(2&amp;3)</sup>
	Portland cement (through seaway transportation)	*0.007 <sup>(2&amp;3)</sup>
	Admixture	*0.138

(1) Bath Inventory; (2) International Maritime Organization; (3) Rossit, G. & Lawson, M.; \* represents data obtained from the suppliers and available scientific sources. \*Water eCO<sub>2</sub> emissions were obtained from North Cyprus relevant governmental body; Aggregates eCO<sub>2</sub> emissions through transportation were calculated depending on the distance from the extraction to production site in collaboration with KASCON Ready-mixed concrete company.

Table 4. National transportation distances and costs of materials

Materials	Transportation distance (km)	Cost (\$/tonne)	
		Production	Transportation
Natural aggregates	72.5	4.46	3.21
RGS	57.3	0.064	8.01
PC	116.5	75	3.57
Admixture	64.4	625	9

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Fresh Properties

##### 3.1.1. Slump Test

Slump value of developed mixes are given in Figure 2. It is clear from the results that RGS incorporation resulted in a slight increase for strength classes. This supports previous findings (Adaway, 2015; Sadiqul, 2017; Soliman, 2017). This is believed to be due to presence of chemical admixture resulted in better dispersion of RGS and mitigated the negative effect through irregular grain shape of RGS. In addition, chemical admixture also believed even though RGS had higher water absorption than natural fine aggregate. The results are also in line with Ling (Ling, 2011) that coarser characteristics of RGS, as can be seen from Figure 1, compared to natural fine aggregate might have reduced water absorption and required lower water demand.

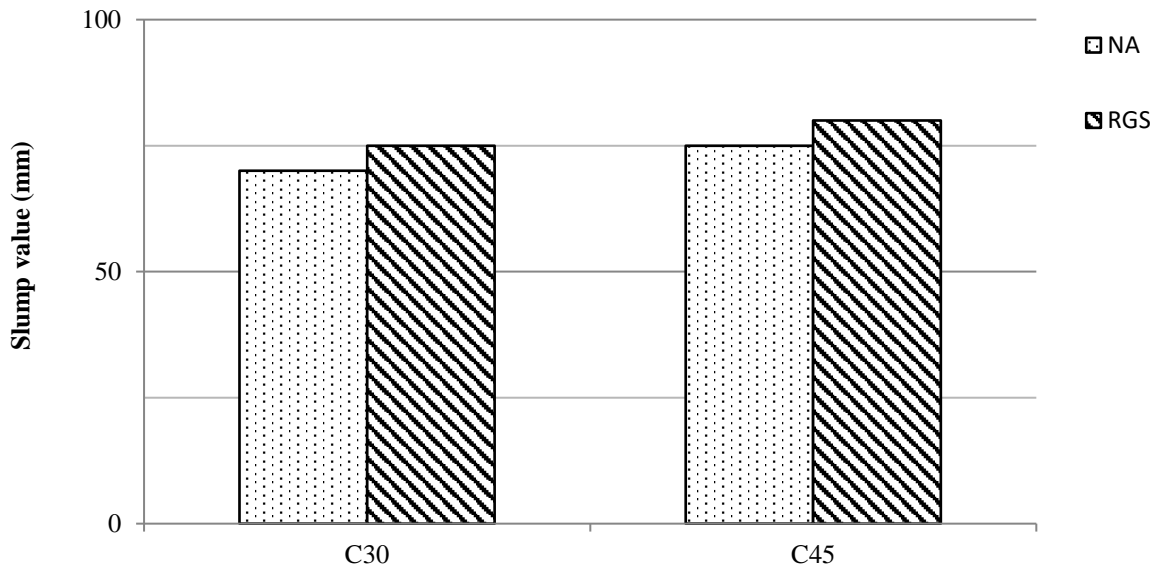


Figure 2. Slump test results

##### 3.1.2. Fresh Density

Fresh density results of concrete mixes are given in Table 5. There is no specific trend observed from the results. RGS use as a replacement to fine aggregate was observed to increase fresh density for both strength classes. The results are in agreement with previous researches by Tan (Tan, 2013) and Ismail (Ismail, 2009). In addition, sharp increase of 30-RGS mix may be explained due to environmental factors, temperature in particular and humidity, might have contributed to the increase in the density.

Table 5. Fresh Density Results

Concrete Strength Class	Mix	Fresh Density (kg/m <sup>3</sup> )
C30	NA	2264
	RGS	2390
C45	NA	2240
	RGS	2276

#### 3.2. Hardened Properties

##### 3.2.1. Hardened Density

Hardened density values are revealed in Table 6. The results showed contradictory trends observed for both strength classes. Both mixes had quite similar results. RGS incorporation resulted in 1% reduction for C30 strength class concrete whilst indicated 1% increase for C45 strength class concrete. The reduction observed for 30-RGS mix is in line with previous researches (Guo, 2018; Rashid, 2018; Soliman, 2017). The contradicting results between two strength classes could be explained by due to 30-RGS mix

content had more fine content which may lead to increased water absorption and resulted in decrease in hardened density. In addition, this may also due to angular shaped RGS particles may result in the reduction in hardened density (Penacho, 2014). Contradictory result for 45-RGS mix may be due to lower RGS content and higher cement contents reduced the total angular material presence and provided better dispersion amongst for that particular mix. This, then, eliminated the negative effect of angularity reported by 30-RGS mix and increased hardened density compared to conventional 45-NA mix.

Table 6. Hardened Density Results

Concrete Strength Class	Mix	Fresh Density (kg/m <sup>3</sup> )
C30	NA	2254
	RGS	2227
C45	NA	2237
	RGS	2260

### 3.2.2. Ultimate Compressive Strength

UCS results are given Figure 3 and Figure 4 for C30 and C45 concrete strength class concretes respectively. Results showed that RGS use reduced the early UCS of both strength class mixes. Similar findings were reported earlier (Afshinnia, 2016; Rashid, 2018; Soliman, 2017). Strength losses at 1 day were recorded as 30% and 29% for C30 and C45 concrete strength classes respectively. This is in line with Hajimohammadi (Hajimohammadi, 2018) that RGS with finer characteristics (between 0.4-2 mm) may contribute to strength development at early ages. As RGS used had nominal size 5.6 mm, this may diminish the contribution of RGS to early strength development. This reduction can be attributed to irregular shape of RGS compared to natural fine aggregate may lead to weaker bonding between cement and aggregate pastes (Afshinnia, 2018). This strength can also be attributed to rough and elongated nature of RGS compared to natural fine aggregate led to reduction in compressive cube strength (Soliman, 2017). However, these loses were lessen at 7 days having reported 6% and 22% strength losses for 30-RGS and 45-RGS concrete mixes respectively in comparison to NA mixes. The improvement also agree with the suggestion reported by the author earlier on hardened density regarding to having more finer content for 30-RGS concrete mix may have filled the finer pores and resulted in only 6% strength loss compared to conventional 30-NA concrete mix. For C30 strength class mixes, RGS incorporation decreased UCS by 1% at both 14 and 28 days whilst 10% strength loss at both days 14 and 28 days were observed for C45 strength class mix compared to conventional control mixes. This improvement supports the fact by previous research reported earlier (Limbachiya, 2009) that RGS content up to 20% does not have negative effect on concrete UCS at 28 days. Also, the improvement in UCS from very early age until 28 days is believed to be due to Silica presence in RGS may have contributed to the formation of Calcium-Silica-Hydrate gel.

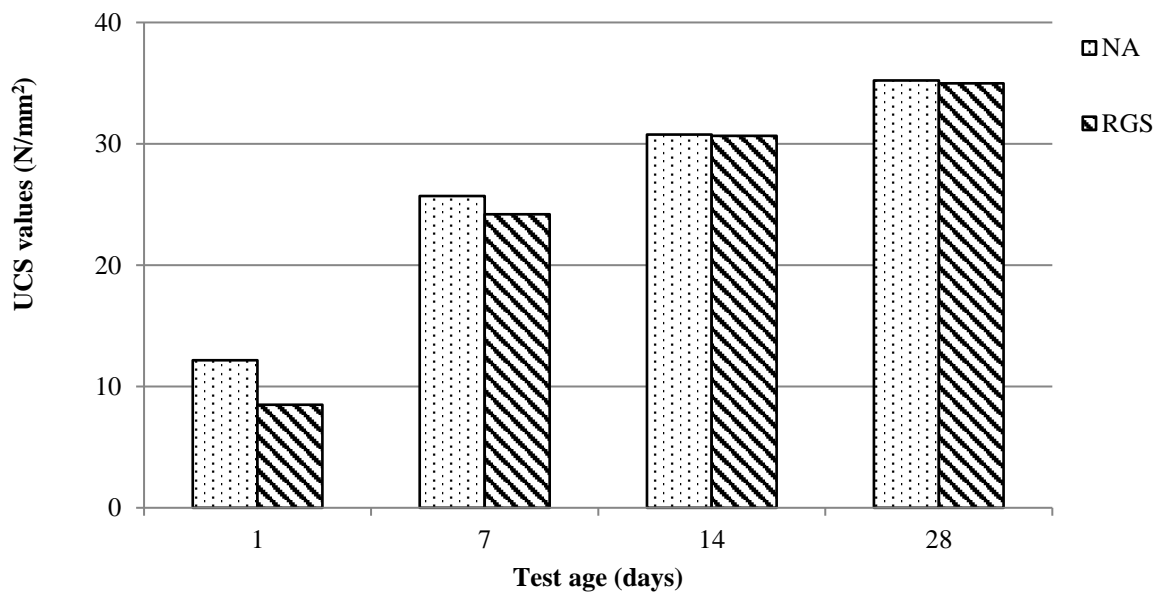


Figure 3. UCS results for 30 N/mm<sup>2</sup> 28-day design strength concrete mixes

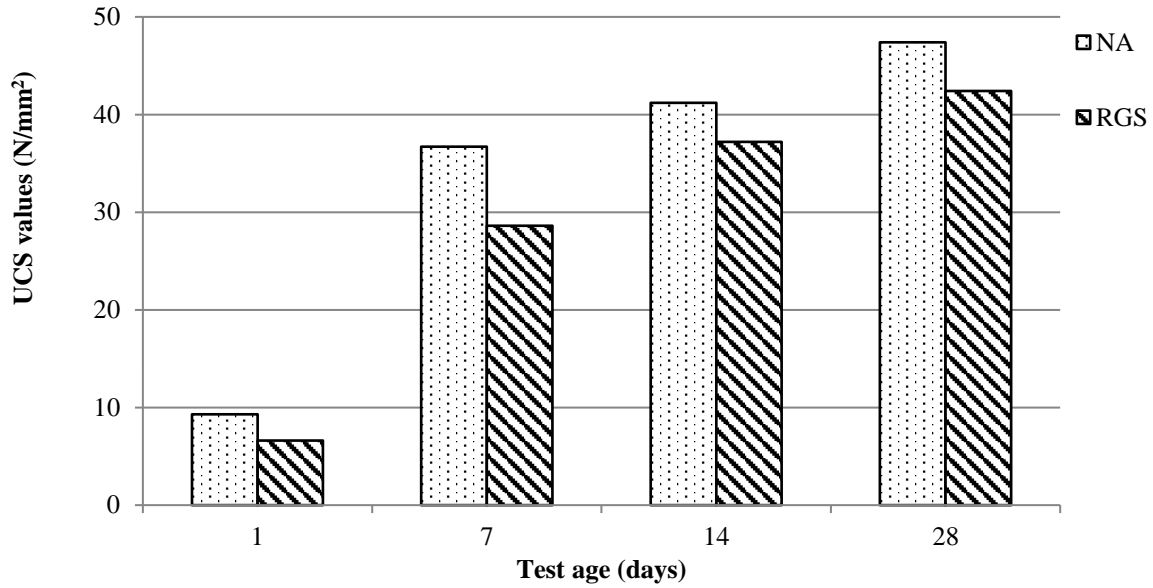


Figure 4. UCS results for 45 N/mm<sup>2</sup> 28-day design strength concrete mixes

### 3.2.3. Schmidt Hammer

Schmidt Hammer test results are revealed in Table 7. Non-destructive test methods have gained popularity for the determination of uniformity and indication of UCS of the existing concrete structures. Quite similar trend as UCS was reported. 30-RGS mix was observed to achieve higher rebound number compared to 30-NA mix whilst 45-RGS mix reported lower rebound number compared to 45-NA mix. Schmidt hammer test results also support facts stated earlier for UCS (Afshinnia, 2018; Limbachiya, 2009). Ratios between Schmidt Hammer and UCS results were reported as 0.49 and 0.50 for 30-NA and 30-RGS mixes respectively. In addition, 45-NA and 45-RGS mixes reported ratios of 0.44 and 0.45 respectively.

Table 7. Schmidt Hammer test results

Concrete Strength Class	Mix	Rebound Number (N/mm <sup>2</sup> )
C30	NA	17.1
	RGS	17.5
C45	NA	20.7
	RGS	18.9

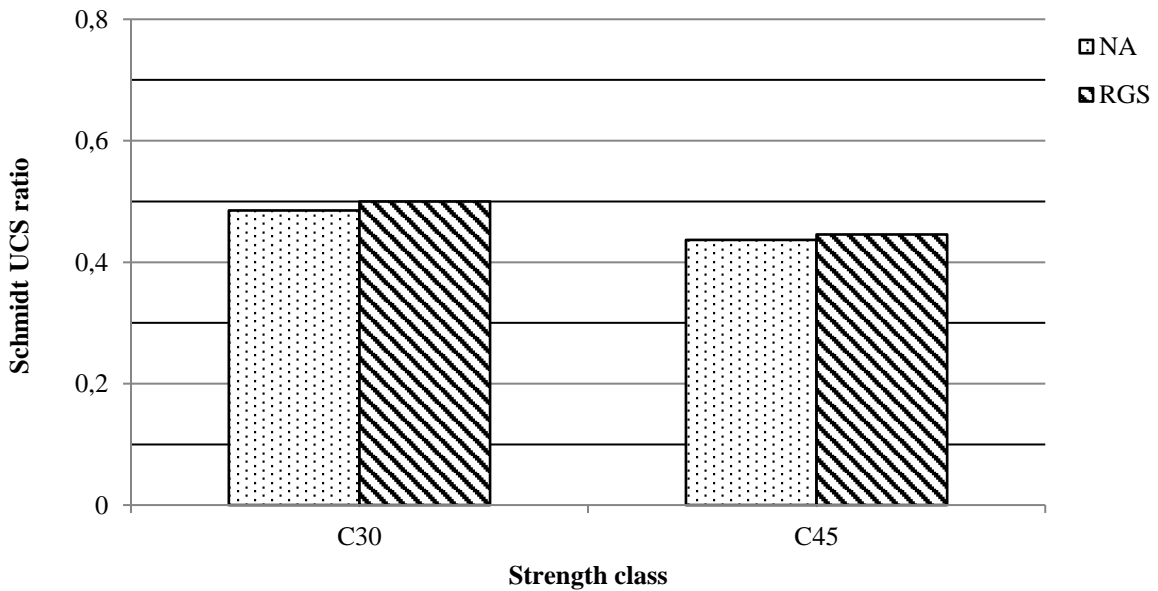




Figure 5. Relationship between Schmidt Hammer and UCS results

### 3.2.4. Ultrasonic Pulse Velocity

UPV test results are provided in Table 8. There is no specific trend observed from the results. However, results are quite in line with UCS results. UPV values were observed to increase as the concrete strength class increases due to increase in the finer material content for C45 strength class mixes. 30-RGS was observed to increase UPV whilst 45-RGS reported slightly lower UPV value compared to control mixes. Higher UPV value of C30 strength class concrete could be explained by surface and texture of RGS, even though rougher and angular, may have provided better particle packing amongst constituents. This can be also seen through UCS results of 30-RGS mix.

Table 8. Ultrasonic Pulse Velocity

Concrete Strength Class	Mix	UPV (m/s)
C30	NA	4094
	RGS	4465
C45	NA	4834
	RGS	4727

## 3.3. Sustainability Performance

### 3.3.1. Environmental Sustainability

The eCO<sub>2</sub> emissions of developed mixes are revealed in Figure 7. As expected eCO<sub>2</sub> emissions increased as the strength class increased. It can be seen from the results that similar trend for both strength classes were reported. The eCO<sub>2</sub> emissions for NA mixes were noted as 322.1 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> and 433.5 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> for 30-NA and 45-NA mixes respectively. RGS incorporation was observed to increase eCO<sub>2</sub> emissions by 2.11% and 1.64% for 30-RGS and 45-RGS mixes respectively. In fact, aggregates have lower eCO<sub>2</sub> emissions through production and transportation, and replacing them with RGS would increase total eCO<sub>2</sub> emissions due to transportation of RGS to the casting site and resulted in higher emissions. It is also observed from the results that RGS incorporation could be an environmentally sustainable approach on the condition of collecting RGS from the radius of 16.5 km and 14.4 km for 30-RGS and 45-RGS respectively. This is in agreement with the previous statement by the Concrete Centre (Concrete Centre, 2011) and Knoeri (Knoeri, 2013) that recycled aggregate use would be a feasible approach if obtained within 15 km radius. The distribution of eCO<sub>2</sub> emissions through production and transportation is given in Figure 8. Results revealed that eCO<sub>2</sub> emissions through production were calculated as 76.6% and 74.9% for 30-NA and 30-RGS mixes respectively whilst 82.1% and 80.8% for 45-NA and 45-RGS mixes respectively. Even though natural aggregates do not contribute to eCO<sub>2</sub> emissions considerably, replacing natural fine aggregate with RGS and using crusher to achieve required grading (<5.6mm) for RGS would lower eCO<sub>2</sub> emissions through production. The relationship between the eCO<sub>2</sub> emissions and 28-days UCS results is provided in Table 9. It is seen from Table 6 that RGS use resulted in increase in eCO<sub>2</sub> per 1 N/mm<sup>2</sup> by 2.73% and 13.7% for 30 N/mm<sup>2</sup> and 45 N/mm<sup>2</sup> strength classes respectively. Higher increase of 45-RGS mix can be attributed to higher UCS loss compared to 45-NA at 28 days. These increases may be diminished by obtaining RGS from closer distance which will reduce the eCO<sub>2</sub> significantly.

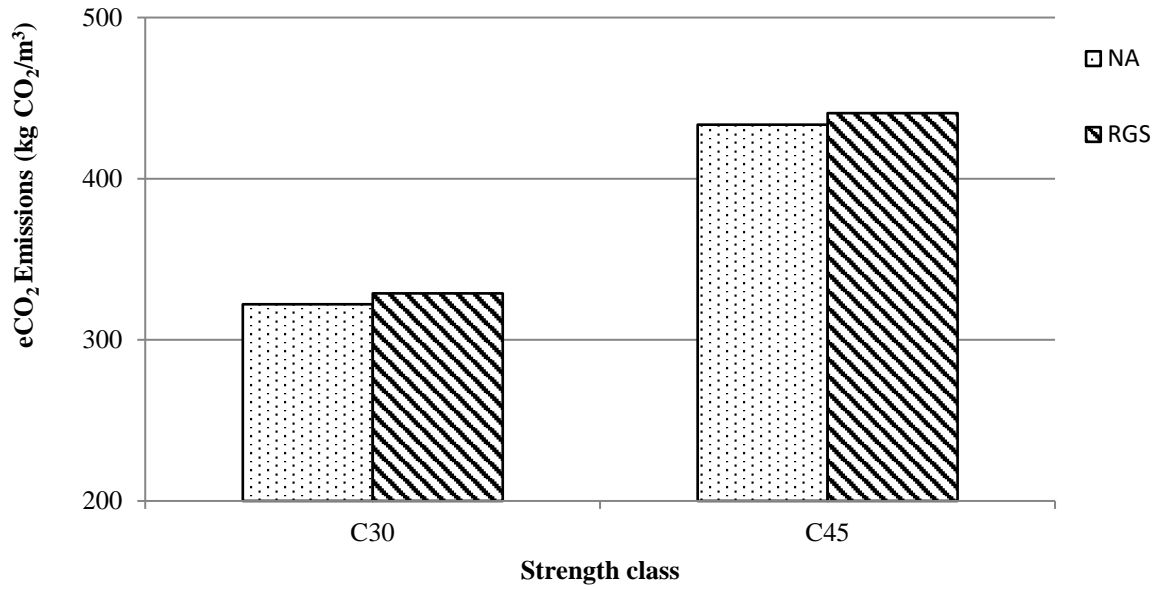


Figure 7. eCO<sub>2</sub> emissions of concrete mixes

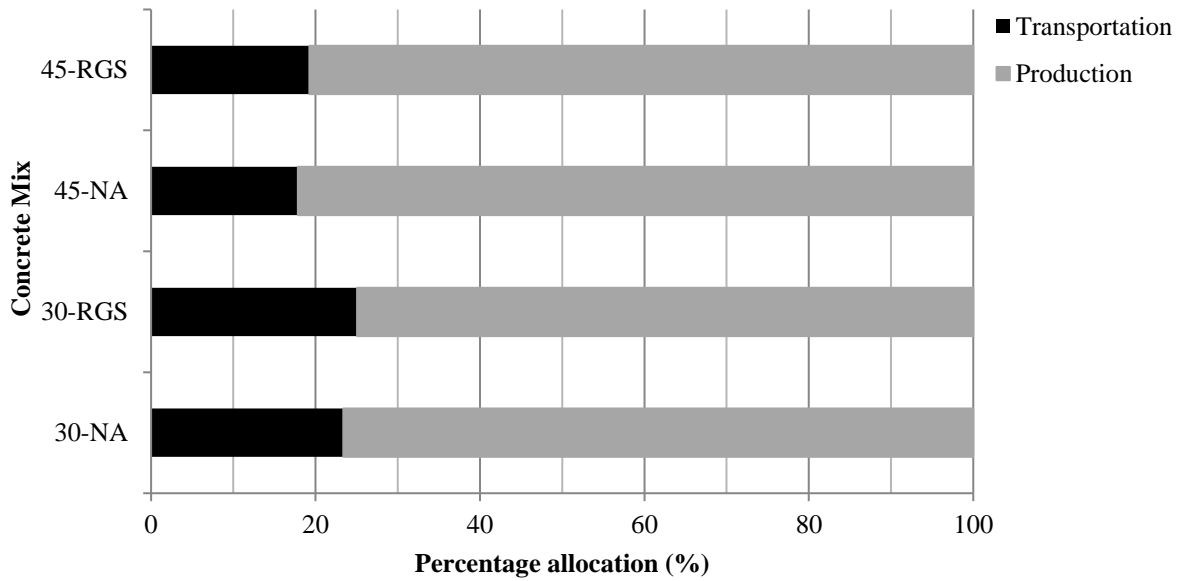


Figure 8. Percentage distribution of eCO<sub>2</sub> emissions of transportation and production of mixes

Table 9. The relationship between environmental and economical sustainability and UCS of concrete mixes

Concrete mix	eCO <sub>2</sub> emission / 28-day UCS (kg CO <sub>2</sub> / N/mm <sup>2</sup> )	Cost / 28-day UCS (\$ / N/mm <sup>2</sup> )
30-NA	9.15	1.19
30-RGS	9.40	1.20
45-NA	9.14	1.12
45-RGS	10.39	1.26

### 3.3.2. Economical Sustainability

Costs of developed concrete mixes are provided in Figure 9. Similar to eCO<sub>2</sub> emission results, cost of concrete mixes was increased as the strength class increased. Results show that RGS incorporation had similar results as concrete mixes. Costs of 30-NA and 45-NA were calculated as \$41.82 and \$53.26 respectively. RGS use increased eCO<sub>2</sub> emissions by 0.09% and 0.06% respectively which can be negligible. This increase in cost is fully influenced by the transportation of RGS to casting site whereas crushing process is responsible from 0.8% of total cost for both RGS mixes. It can also be concluded from the results that RGS incorporation could be an economically viable approach if obtained from 2.9 km closer facility (54.4 km for this particular research) for both strength classes. The distribution of costs for both production and transportation is given in Figure 10. Cost of production undertakes 83.5% and 85.9% for 30-NA and 45-NA mixes respectively whereas 81% and 85.1% were reported for 30-RGS and 45-RGS mixes respectively. The relationship between cost and 28-days UCS results is provided in Table 9. Results show that RGS use showed increase in cost per 1 N/mm<sup>2</sup> by 0.8% and 12.5% for 30 N/mm<sup>2</sup> and 45 N/mm<sup>2</sup> target design strength concretes respectively. Similar to relationship between eCO<sub>2</sub> emissions and 28-days UCS results, significant increase of 45-RGS mix is due to lower 28-day UCS. As the effect of transportation on cost is higher for RGS mixes than conventional mixes, collecting waste glass from closer facility will also contribute to economical sustainability.

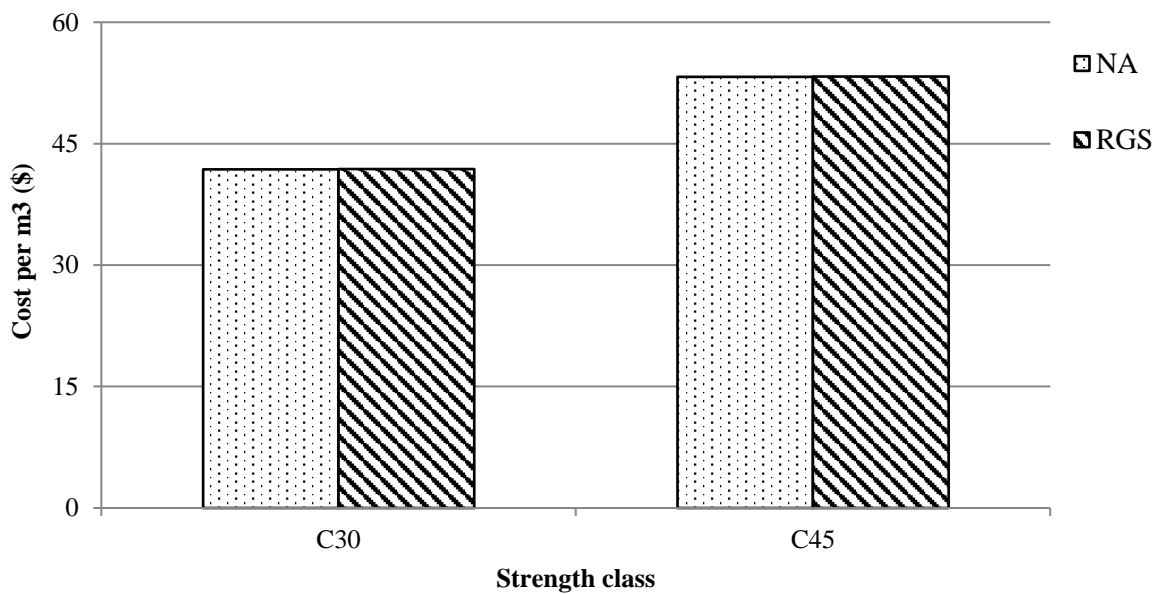


Figure 9. Cost of concrete mixes

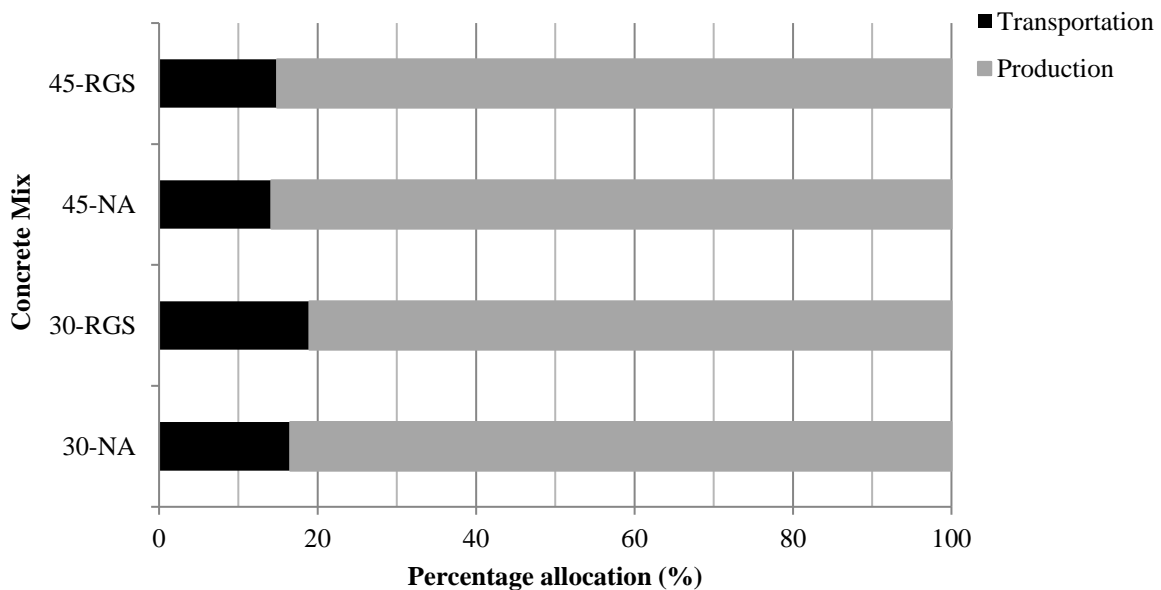


Figure 10. Percentage distribution of cost of transportation and production of mixes

### 3.3.3. Social Sustainability

Human factor is usually neglected when taking into account the principles of sustainability due to lack of direct numerical contribution. However, sustainability directives and legislations are set up by humankind. There is no strict current legislation in force on the sustainable development in North Cyprus concrete industry. Several environmental organizations have raised the public awareness on the environmental destruction from the quarry sites. In addition, waste materials are usually sent to landfill in North Cyprus due to solid waste storage facility has reached to full capacity. Encouraging concrete industry to utilize waste materials is a necessity in order to provide environmentally friendly concrete production. Glass is one of the most consumed materials in North Cyprus and usually being sent to landfill due to local municipalities does not have necessary recycling and storage facilities. Concrete production is one of most appropriate approach for recycled glass to be benefited and reused. This may contribute to social sustainability through reusing of a waste material and thereby reducing the amount of glass that is sent to landfill and reduce the demand on the quarrying natural raw materials to be used as a concrete constituent.

## 4. Conclusions and Recommendations

The main conclusions extracted from this research study are as follows;

- Presence of chemical admixture enabled irregular shaped RGS to disperse better in the concrete mix and improved the slump value of mixes slightly.
- RGS incorporation showed sharp reduction for UCS at early ages. Strength losses were observed as 30% and 29% at 1 day testing whilst 6% and 22% strength losses were noted at 7 days for 30-RGS and 45-RGS mixes respectively. RGS mixes achieved either similar or slightly lower UCS values at 28 days. RGS mixes were observed to reduce as the curing age increases due to pozzolanic contribution by RGS.
- Schmidt hammer values showed similar trend as 28-days UCS results. Similar ratios for Schmidt hammer and 28-day UCS were reported for both strength classes. In addition, ratios between Schmidt hammer and 28-day UCS results were ranged between 0.44 and 0.50.
- 30-RGS provided higher UPV whereas lower UPV value was recorded for 45-RGS mix. Quite similar trend as UPV values were also noted by UCS and Schmidt hammer test results due to increased finer content provided better particle packing.
- Environmental sustainability results showed that RGS addition resulted in higher eCO<sub>2</sub> emissions due to longer transportation distance where RGS was obtained from. RGS indicated promising results in reducing the environmental footprint of concrete if obtained within 14.4 km radius. In addition, RGS also indicated promising result for economical sustainability by providing similar cost as conventional concretes. As far as the social sustainability concerned, RGS use may reduce the amount of waste sent to landfill and reduce the amount of natural raw materials used in concrete production.
- Potential use of RGS to improve sustainability credentials was investigated in this research. Environmental and economical sustainability need to be further investigated on RGS that is obtained from closer facilities. In addition, mechanical performance of RGS concrete having finer grading is also recommended for future studies in aiming to benefit more from amorphous phase of RGS and achieve similar mechanical performances with lower natural raw materials and cementitious contents.

## 5. Acknowledge

This research did not receive any specific funding from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors. The author would like to appreciate Kascon Group of Companies and its director Mr. Kemal Sergen and Nayat Yapı Ltd. and its director Mr. Metin Eray and Boğaziçi Endüstri ve Madencilik Ltd. and Tuğçe Mani for providing some of the materials used for the present work.

## References

- Adaway, M. & Wang, Y. (2015) Recycled glass as a partial replacement for fine aggregate in structural concrete – Effects on compressive strength. *Electronic Journal of Structural Engineering*. 14(1), 116-122.
- Afshinnia, K. & Rangaraju, P.R. (2016) Impact of combined use of ground glass powder and crushed glass on selected properties of Portland cement concrete. *Construction and Building Materials*. 117, 263-272. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.072>.
- Alexander, M. & Mindness, S. (2010) *Aggregates in Concrete*. 1st Ed., CRC Press. ISBN: 9780415258395.
- Arulrajah, A., Kua, T., Horpilbulsuk, S., Mirzababaei, M. & Chinkulkijniwat, A. (2017) Recycled glass as a supplementary filler material in spent coffee grounds geopolymers. *Construction and Building Materials*. 151, 18-27. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.050>.
- Aydin, E. & Arel, H.Ş. (2019) High Volume Marble Substitution in Cement Paste: Towards Better Sustainability. *Journal of Cleaner Production*. Article in Press. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117801>.

- Bilir, T., Yüksel, İ., Topçu, İ.B. & Gencel, O. (2015) Effects of bottom ash and granulated blast furnace slag as fine aggregate on abrasion resistance of concrete. 24(2), 261-269. <https://doi.org/10.1515/secm-2015-0101>.
- Bostanci, S.C., Limbachiya, M.C. & Kew, H. (2018) Use of recycled aggregates for low carbon and cost effective concrete production. *Journal of Cleaner Production*. 189, 176-196. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.090>.
- Bourgiba, A., Ghorbel, E., Cristofol, L. & Dhaoui, W. (2017) Effect of recycled sand on the properties and durability of geopolymer and cement based mortars. *Construction and Building Materials*. 153, 44-54. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.029>.
- Carsana, M., Frassoni, M. & Bertolini, M. (2014) Comparison of ground waste glass with other supplementary cementitious materials. *Cement & Concrete Composites*. 45, 39-45. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.09.005>.
- Corinaldesi, V., Nardinocchi, A. & Donnini, J. (2016) Reuse of recycled glass in mortar manufacturing. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*. 20, Issue sup1, 140-151. <https://doi.org/10.1080/19648189.2016.1246695>.
- Demirel, B., Gultekin, E. & Alyamac, K.E. (2019) Performance of Structural Lightweight Concrete containing Metakaolin after Elevated Temperature. *KSCE Journal of Civil Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s12205-019-1192-x>.
- Du, H. & Tan, K.H. (2017) Properties of high volume glass powder concrete. *Cement & Concrete Composites*. 75, 22-29. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.10.010>.
- European Parliamentary Research Service (2018) *CO<sub>2</sub> standards for new cars and vans*. PE 614.689. European Parliament.
- Gagg, C.R. (2014) Cement and concrete as an engineering material: an historic appraisal and case study analysis. *Engineering Failure Analysis*. 40, 114-140. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2014.02.004>.
- Gesoglu, M., Güneş, E., Hansu, O., Etili, S. & Alhassan, M. (2017) Mechanical and fracture characteristics of self-compacting concretes containing different percentage of plastic paste powder. *Construction and Building Materials*. 140, 562-569. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.139>.
- Guo, M.Z., Tu, Z., Poon, C.S. & Shi, C. (2018) Improvement of properties of architectural mortars prepared with 100% recycled glass by CO<sub>2</sub> curing. *Construction and Building Materials*. 179, 138-150. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.188>.
- Hajimohammadi, A., Ngo, T. & Kashani, A. (2018) Glass waste versus sand as aggregates: The characteristics of the evolving geopolymer binders. *Journal of Cleaner Production*. 193, 593-603. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.086>.
- Hajimohammadi, A., Ngo, T. & Kashani, A. (2018) Sustainable one-part geopolymer foams with glass fines versus sand as aggregates. *Construction and Building Materials*. 171, 223-231. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.120>.
- Harbi, R., Deraï, R. & Nafa, Z. (2017) Improvement of the properties of a mortar with 5% kaolin fillers in sand combined with metakaolin, brick waste and glass powder in cement. *Construction and Building Materials*. 152, 632-641. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.062>.
- Hilburg, J. (2019) *Archpaper.com* [online]. New York: The Architect's Newspaper, LLC [cited 10<sup>th</sup> July 2019]. <<https://archpaper.com/2019/01/concrete-production-eight-percent-co2-emissions/>>.
- Idir, R., Cyr, M., Tagnit-Hamou, A. (2011) Pozzolanic properties fine and coarse color-mixed glass cullet. *Cement & Concrete Composites*. 33(1), 19-29. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.09.013>.
- Ismail, Z.Z. & AL-Hashmi, E.A. (2009) Recycling of waste glass as a partial replacement for fine aggregate in concrete. *Waste Management*. 29, 655-59. <http://doi:10.1016/j.wasman.2008.08.012>.
- Knoeri, C., Sanye-Mengual, E. & Althaus, H. (2013) Comparative LCA of recycled and conventional concrete for structural applications. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 18(5), 909-918. <http://doi:10.1007/s11367-012-0544-2>.
- Limbachiya, M. (2009) Bulk engineering and durability properties of washed glass sand concrete. *Construction and Building Materials*. 23, pp.1078-1083. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.05.022>.
- Ling, T.C. & Poon, C.S. (2011) Utilization of recycled glass derived from cathode ray tube glass as fine aggregate in cement mortar. *Journal of Hazardous Materials*. 192(2), 451-456. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.05.019>.
- Ling, T.C., Poon, C.S. & Kou, S.C. (2011) Feasibility of using recycled glass in architectural cement mortars. *Cement & Concrete Composites*. 33, 848-854. [doi:10.1016/j.cemconcomp.2011.05.006](https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.05.006).
- Mineral Products Association (2019) *Sustainable Development Report 2018*. London: Mineral Products Association.
- Nunes, S., Matos, A.M., Duarte, T., Figueiras, H. & Sousa-Coutinho, J. (2013) Mixture design of self-compacting glass mortar. *Cement & Concrete Composites*. 43, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.05.009>.
- Özkan, Ö. & Yüksel, İ. (2008) Studies on mortars containing waste bottle glass and industrial by-products. *Construction and Building Materials*. 22, 1288-1298. [doi:10.1016/j.conbuildmat.2007.01.015](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.01.015).
- Paul, S.C., Savija, B. & Babafemi, A.J. (2018) A comprehensive review on mechanical and durability properties of cement-based materials containing waste recycled glass. *Journal of Cleaner Production*. 198, 891-906. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.095>.
- Penacho, P., de Brito, J. & Veiga, M.R. (2014) Physico-mechanical and performance characterization of mortars incorporating fine glass waste aggregate. *Cement & Concrete Composites*. 50, 47-59. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.02.007>.
- Persistence Market Research (2019) *Persistence Market Research (PMR)* [online]. Persistence Market Research [cited 10<sup>th</sup> July 2019]. <<https://www.persistencemarketresearch.com/market-research/global-construction-aggregates-market.asp>>.
- Rashid, K., Hameed, R., Ahmad, H.A., Razzaq, A., Ahmad, M. & Mahmood, A. (2018) Analytical framework for value added utilization of glass waste in concrete: Mechanical and environmental performance. *Waste Management*. 79, 312-323. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.07.052>.
- Sadiqul Islam, G.M., Rahman, M.H. & Kayem, N. (2017) Waste glass powder as partial replacement of cement for sustainable concrete practice. *International Journal of Sustainable Built Environment*. 6, 37-44. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2016.10.005>.
- Siad, H., Lachemi, M., Sahmaran, M. & Anwar Hossain, K.M. (2017) Mechanical, Physical and Self-Healing Behaviors of Engineered Cementitious Composites with Glass Powder. 29(6). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001864](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001864).



- Siad, H., Lachemi, M., Sahmaran, M., Mesbah, H.A. & Anwar Hossain, K.M. (2018) Use of recycled glass powder to improve the performance properties of high volume fly ash-engineered cementitious composites. 163, 53-62. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.067>.
- Soliman, N.A. & Tagnit-Hamou, A. (2017) Using glass sand as an alternative for quartz in UHPC. *Construction and Building Materials*. 145, 243-252. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.187>.
- Tan, K.H. & Du, H. (2013) Use of waste glass as sand in mortar: Part I – Fresh, mechanical and durability properties. *Cement & Concrete Composites*. 35, 109-117. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.08.028>.
- The Concrete Centre (2011) *Specifying Sustainable Concrete*. Ref. TCC/05/24, ISBN 978-1-908257-01-7; London: The Concrete Centre.
- Uçal, G.O., Mahyar, M. & Tokyay, M. (2018) Hydration of alinite cement produced from soda waste sludge. *Construction and Building Materials*. 164, 178-184. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.196>.
- Ulubeyli, G.Ç., Bilir, T. & Artır, R. (2017) Ceramic Wastes Usage as Alternative Aggregate in Mortar and Concrete. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*. 5 (2), 194-201. <http://dx.doi.org/10.21533/pen.v5i2.115>.
- Watts, J. (2019, February 25). Concrete: the most destructive material on earth. Retrieved from; <https://www.theguardian.com/cities/2019/feb/25/concrete-the-most-destructive-material-on-earth>.



# Uranil iyonlarının sulu çözeltilerden amidoksimatlı poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid] üzerine adsorpsiyonu

Çiğdem Öter<sup>1\*</sup>, Özlem Selçuk Zorer<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi, Van, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8262-4882)

<sup>2</sup> Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi, Van, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6486-8365)

(İlk Geliş Tarihi 26 Ağustos 2019 ve Kabul Tarihi 1 Ekim 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.610868)

**ATIF/REFERENCE:** Öter, Ç. & Selçuk Zorer, Ö. (2019). Uranil iyonlarının sulu çözeltilerden amidoksimatlı poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid] üzerine adsorpsiyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 131-144.

## Öz

Uranyum kirliliği yüksek toksisite ve radyoaktivite içerir. Bu nedenle insan sağlığı ve çevre için ciddi bir tehdit oluşturur. Bu nedenle sulu çözeltilerden uranyumun geri kazanımı için kimyasal çökeltilme, iyon değişimi, ters ozmoz ve adsorpsiyon gibi bir dizi teknik geliştirilmiştir. Düşük konsantrasyonlarda, sulu çözeltilerden uranyum gibi uzun ömürlü radyonüklidlerin adsorpsiyon yoluyla ayrılması hem nükleer/radyasyon kimyasında hem de çevre/atık işlem kimyasında önemlidir. Çevre kirliliğinin önlenmesi konusunda ekonomik ve teknik bakımlardan uygulanabilir yöntemlere ihtiyaç duyulması nedeniyle, doğal ve sentetik adsorbanlar üzerinde birçok çalışma yapılmaktadır. Amidoksim grupları içeren polimerlerin ağır metal iyonları içeren kompleksler oluşturma eğiliminde olduğu ve uranyum iyonları içeren komplekslerin de oldukça çok araştırıldığı belirlenmiştir. Bu çalışmada sulu çözeltilerden uranyumun giderilmesi amacıyla amidoksim grupları içeren yeni bir polimer adsorban madde üretilmiştir. N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid monomerini sentezlemek için 4-aminofalonitril ve akrilolil klorür kullanıldı ve bu monomer poli [N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid]'e polimerize edildi. Son olarak, polimer nitril grupları içeren amidoksimatlanmış forma dönüştürüldü. Monomer, polimer ve amidoksimatlanmış formunun yapısı, FT-IR spektroskopisi ve termal analiz yöntemleri ile karakterize edildi. Temas süresi, pH, ilk konsantrasyon ve amidoksimatlı polimer tarafından U(VI) adsorpsiyonu üzerindeki sıcaklık gibi çeşitli deneysel parametrelerin etkisi araştırılmış ve uranyumun sulu çözeltilerden adsorpsiyonu için koşullar belirlenmiştir. Kinetik koşullar için, veriler sözde birinci derece, sözde ikinci derece ve partikül içi kinetik modeline uygulandı. Sonuçlar, U(VI) 'nın amidoksimatlanmış polimer üzerindeki adsorpsiyonunun sözde ikinci dereceden kinetik modeline uyduğunu göstermiştir. Denge koşulları için sulu çözeltilerdeki denge verileri Langmuir, Freundlich, Temkin ve Dubinin-Radushkevich gibi farklı sorpsiyon izotermlerine uygulandı. Adsorpsiyon denge verilerinin, U(VI) iyonlarının amidoksimasyonlu polimer tarafından adsorpsiyonunda Langmuir modeline çok uyum gösterdiği ve maksimum adsorpsiyon kapasitesinin 175.4 mg/g olduğu belirlenmiştir. Termodinamik koşullar için,  $\Delta H^\circ$ ,  $\Delta S^\circ$  ve  $\Delta G^\circ$  termodinamik parametreleri hesaplandı ve değerlendirildi.  $\Delta G^\circ$  (-2.92 kJ/mol) negatif değeri, spontanlığı belirtirken,  $\Delta H^\circ$  (15.14 J/mol) pozitif değeri, amidoksimasyonlu polimer tarafından U(VI) adsorpsiyonu için adsorpsiyon işleminin endotermik yapısını göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Adsorpsiyon, Amidoksim, Polimer, Uranyum.

## Adsorption of uranyl ions from aqueous solutions onto amidoximated poly[N-(3,4-dicyanophenyl) acrylamide]

### Abstract

Uranium pollution contains high toxicity and radioactivity. Therefore, it poses a serious threat to human health and the environment. Therefore, a number of techniques have been developed for the recovery of uranium from aqueous solutions, such as chemical precipitation, ion exchange, reverse osmosis and adsorption. At low concentrations, the separation of longevity radionuclides, such as

\* Sorumlu Yazar: Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi, Van, Türkiye, ORCID: 0000-0002-8262-4882, [cigdem1414@gmail.com](mailto:cigdem1414@gmail.com)

uranium, from aqueous solutions by adsorption is important in both nuclear/radiation chemistry and environmental/waste treatment chemistry. Due to the need for economic and technical applicable methods for the prevention of environmental pollution, many studies have been carried out on natural and synthetic adsorbents. It has been found that polymers containing amidoxime groups tend to form complexes containing heavy metal ions and complexes containing uranium ions have been investigated quite a lot. In this study, a novel polymer adsorbent containing amidoxime groups was produced to remove uranium from aqueous solutions. 4-Aminophthalonitrile and acryloyl chloride were used to synthesize the N-(3,4-dicyanophenyl) acrylamide monomer, which was polymerized to poly [N-(3,4-dicyanophenyl) acrylamide]. Finally, the polymer was converted to the amidoximatized form containing nitrile groups. The structure of the monomer, polymer and amidoximatized form was characterized by FT-IR spectroscopy and thermal analysis methods. The effect of various experimental parameters such as contact time, pH, initial concentration and temperature on U (VI) adsorption by the amidoximatized polymer was investigated and conditions for adsorption of uranium from aqueous solution were determined. For kinetic conditions, the data were applied to the Pseudo-first order, pseudo-second order, and intra-particle kinetics model. The results showed that the adsorption of U (VI) on the amidoximatized polymer fits the so-called second order kinetic model. For equilibrium conditions, equilibrium data in aqueous solutions were applied to different sorption isotherms such as Langmuir Freundlich, Temkin and Dubinin-Radushkevich. Adsorption equilibrium data were found to be more compatible with Langmuir model in adsorption of U (VI) ions by amidoximated polymer and maximum adsorption capacity was 175.4 mg/g. For thermodynamic conditions,  $\Delta H^\circ$ ,  $\Delta S^\circ$  and  $\Delta G^\circ$  thermodynamic parameters were calculated and evaluated. A negative value of  $\Delta G^\circ$  (-2.92 kJ/mol) indicates spontaneity, while a positive value of  $\Delta H^\circ$  (15.14 J/mol) indicates the endothermic structure of adsorption for U (VI) adsorption by the amidoximated polymer.

**Keywords:** Adsorption, Amidoxime, Polymer, Uranium.

## 1. Giriş

Uranyum, nükleer yakıt olarak önemli enerji kaynaklarından biri olarak kabul edilir. Uranyumu doğal deniz suyundan, nehir suyundan ve endüstriyel atık sularından geri kazanma çabası da oldukça önemlidir. Uranyum gibi başlıca radyoaktif atık ve kirlenmiş kaynakları; elektrik enerjisi üretimi, nükleer yakıtlardan silah üretimi, nükleer silah testleri, yakıtların yeniden işlenmesi ve nükleer kazalardan kaynaklanmaktadır. (Tavengwa ve ark., 2015). Uranyum ve tuzları oldukça toksiktir ve büyük bir sağlık sorunu oluşturur. Böbrek ve kemiklerde ciddi hasara neden olurlar ve beyinde birikirler. Bu nedenle, uranyum ile kirlenmiş atık suları arıtmak için acilen etkili ve ekonomik bir metoda ihtiyaç duyuyor. Bilinen en iyi geleneksel yöntemler membran muamelesi, kimyasal-çökeltme, iyon değişimi, özütleme ve adsorpsiyondur. Bununla birlikte, bu yöntemlerin bazıları yüksek işletme maliyetleri, ikincil kirlilik ve ortaya çıkan çamurun bertarafı sorunu olarak bazı olumsuz dezavantajlar göstermiştir. Bu yöntemler arasında adsorpsiyon yöntemi, kolay uygulanabilirlik, düşük maliyet ve yüksek verimlilik gibi avantajlar göstermiştir (Chen ve ark., 2017).

Adsorpsiyon işlemi daha etkin ve az maliyetli bir hale getirmek için birçok araştırmacı ucuz ve yenilenebilir adsorbanlar bulmaya çalışmaktadırlar. Adsorban madde olarak nanomateryaller, aktif karbon, çeşitli polimerler, reçineler, jeller, alüminyum oksit, silikatlar, killer, çeşitli bitki türleri, zeolitler gibi birçok madde kullanılmıştır (Aycan ve Arslan, 2017). Uranil katyonunu kompleksleştiren çeşitli ligand tipleri, ekvator düzleminde uranyum atomuna koordine edilen donör atomları içerir. Amidoksim içeren ligandlar da uranil katyonunu kompleksleştirebilir (Stemper ve ark., 2018). Amidoksime dayalı adsorbanlar, 1960'lardan bu yana yüksek seçiciliği ve uranyumla ilgisi nedeniyle yoğun ilgi görmüştür. Bu adsorbanlar, metal iyonları ile koordinasyon bağı ve stabil yapı oluşturan elektron bağış gruplarındaki ( $-\text{NH}_2$ ,  $\text{HNCH}_3$  ve  $\text{N}(\text{CH}_3)_2$ ) yalnız çift elektronlar sayesinde metal iyonlarını adsorbe eder. Birçok durumda, bu amidoksim-işlevselleştirilmiş malzemeler, akrilonitril grupları ( $-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{C}\equiv\text{N}$ ) katı yapılara sokularak ve daha sonra bu grupları amidoksim gruplarına ( $-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{C}(\text{NH}_2)=\text{NOH}$ ) dönüştürerek sentezlenebilir (Zeng ve ark., 2017).

Uranil'in sulu çözeltilerden, amidoksim-işlevselleştirilmiş iyonik sıvılar (Barber ve ark., 2012), amidoksimler içeren bir gözenekli baskılı polimer (Huang ve ark., 2015) ve amido-oksim modifiye edilmiş mezoporoz silika (Gunathilake ve ark., 2015) ile özütlendiği belirtilmiştir. Kitosanın ve akrilonitrilin çökeltme greft kopolimerizasyonu yoluyla amidoksimsi kitosan aşılınmış poli akrilonitril (CTS-g-PAO) hazırlandığı bir çalışmada, akrilonitril gruplarının hidroksilamin hidroklorür kullanılarak amidoksim gruplarına dönüştürülmesi ile bunların her birinin, hidroksilamin hidroklorür kullanan kombinasyonlarının avantaj sahibi olduğu belirtilmiştir (Xu ve ark., 2015). Yapılan bir çalışmada, elektron ışını kaynaklı akrilonitril ve ikonik asidin polietilen lifi üzerine aşılınması kullanılarak yeni bir amidoksim bazlı polimer adsorban serisi sentezlenmiştir. Sentetik DMSO ile ısı işlem görmüş bu adsorbanların deniz suyundan 4.48 g-U/kg-ads kadar yüksek uranyum adsorbe ettiği belirtilmiştir (Das ve ark., 2016). Başka bir çalışmada, PAN/MMT nanokompozitinin interkalasyon polimerizasyonu ile hazırlandığı ve bu adsorbanın uranyum adsorpsiyon kapasitesinin pH 7'de 3,06 mg/g'ye ulaştığı bildirilmiştir (Shen ve ark., 2012). Simüle edilmiş deniz suyunda uranyum iyonları için pH 7'de 98.425 mg/g'lık mükemmel seçici adsorpsiyon kapasitesi sergileyen C8A-AO adsorbanının hazırlandığı bir çalışmada, amidoksim grubunun güçlü bir afiniteye sahip olduğu ve nötr veya zayıf alkali bir çözeltide uranil trikarbonat komplekslerini [ $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3^{4-}$ ] etkin bir şekilde şelatlayabildiği görülmüştür (Lu ve ark., 2016).

Bu çalışmanın amacı, çeşitli deneysel parametrelerin, amidoksimatlı poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid] ile uranyum adsorpsiyonu üzerindeki etkisini araştırmak ve adsorpsiyon prosesini denge, kinetik ve termodinamik koşullar açısından değerlendirmektir.

## 2. Materyal ve Metot

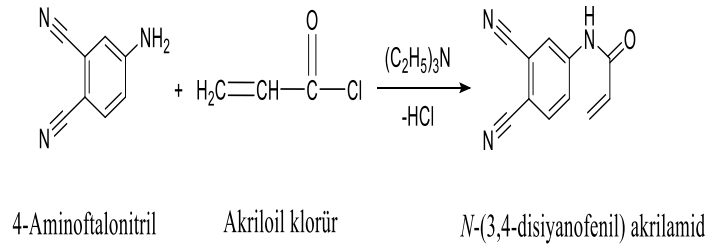
### 2.1. Kimyasallar ve Cihazlar

Amidoksimatlı polimer sentezinde; monomer sentezi için kullanılan 4-Aminoftalonitril [ $H_2NC_6H_3-1,2-(CN)_2$ ], trietil amin [ $(C_2H_5)_3N$ ], akrilolil klorür ( $C_3H_3ClO$ ) ve diklor metan ( $CH_2Cl_2$ ) ile ikinci aşamada polimerizasyonda başlatıcı olarak kullanılan AIBN [ $2,2'$ -azo-bis(izobutironitril)] ve son olarak amidoksimasyon aşamasında kullanılan hidroksilamin hidroklorür ( $NH_2OH.HCl$ ) reaktifleri ile  $UO_2(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$  tuzu analitik saflıkta olup Merck firmasından temin edilmiştir.

Deneylerde, WiseStir çoklu mekanik karıştırıcılı ısıtıcı, NÜVE FN 400 etüv, Thermo Scientific ultra saf su cihazı, 620 Lab pH Meter pH metre, Optizen POP UV spektrofotometre kullanılmıştır. Monomer, polimer ve amidoksimatlı polimer aşamalarının yapısal karakterizasyonu Bio-Rad-Win-IR model FT-IR spektrofotometresi kullanılarak yapılmıştır. Poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid] ile amidoksimatlı poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid]'in termal kararlılıkları, camısı geçiş sıcaklığı ve erime sıcaklık değerleri, TGA/DSC analizleri Setaram Labsys Evo Gravimetrik Analyzer 1600 Model cihazla belirlendi.

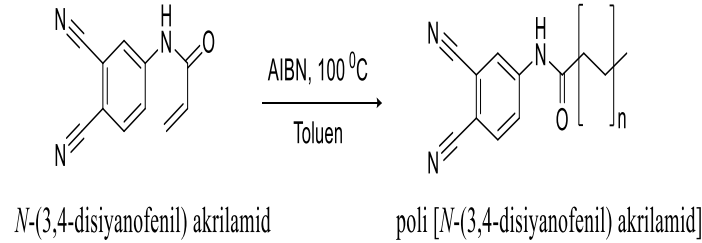
## 2.2. Amidoksimatlı poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid]'in Sentezlenmesi

N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid monomerin sentezi için; 4-aminoftalonitril (2.5 g), diklor metan (10 mL) ve trietil amin (2.7 mL) karışımı buz banyosunda soğutulmuş damla damla akrilolil klorür (1.5 mL) eklendi ve reaksiyon karışımı 24 saat boyunca oda sıcaklığında karıştırıldı (Şekil 1) ve süre sonunda saf su ile 3 kez ekstrakte edildi, filtre kağıdında süzülen monomer  $80^\circ C$ 'de etüvde kurutuldu (Kokosza ve ark., 2013).



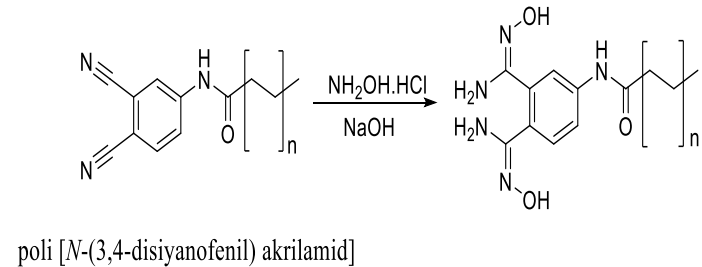
Şekil 1. N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid monomerinin sentez reaksiyonu

Daha sonra bu monomer AIBN başlatıcısı kullanılarak poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid] 'e polimerize edildi (Şekil 2).



Şekil 2. N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid'in polimerleşme reaksiyonu

Son olarak, polimer hidroksilamin hidroklorür tuzu ile nitril grupları içeren amidoksimatlanmış forma dönüştürüldü (Pekel ve ark., 2000). Elde edilen amidoksimatlı poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid] adsorbanı (Şekil 3) adsorpsiyon işlemlerinde kullanılmak üzere desikatör içerisinde muhafaza edildi.



Şekil 3. poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid]'in amidoksimasyon reaksiyonu

## 2.2. Adsorpsiyon Çalışmaları

Amidoksimatlı poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid] adsorbanı üzerine uranyum adsorpsiyonu çalışmaları kesikli yöntem uygulanarak, çoklu manyetik karıştırıcılı ısıtıcıda gerçekleştirildi. Farklı konsantrasyon ve pH'lardaki uranyum değişen sürelerde farklı sıcaklıklarda adsorban ile temas ettirildi. pH ayarlamaları için çalışmalarda  $CH_3COOH$  ile  $NaOH$  çözeltileri kullanıldı.

Adsorplama işlemi sonunda adsorban ile uranyum çözeltileri filtre kağıdı ile süzülerek ayrıldı. Çözelti ortamında kalan uranyum miktarı için ise Arsenazo-III yöntemi spektrofotometrik olarak uygulanmıştır (Wei ve ar., 2007).

Amidoksimatlı poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid]'in t zamanında ( $q_t$ , mg/g) ve dengede ( $q_e$ , mg/g) adsorpsiyon kapasitesi, adsorpsiyon verimi (A%), aşağıdaki denklemlerden hesaplandı:

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t)}{m} \times V \quad (1)$$

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)}{m} \times V \quad (2)$$

$$A (\%) = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100 \quad (3)$$

Eşitliklerde;  $q_t$  ve  $q_e$ 'nin sırasıyla t ve dengede adsorpsiyon kapasitesi ( $\text{mg g}^{-1}$ ) olduğu;  $C_0$ ,  $C_e$  ve  $C_t$ , sırasıyla t zamanında ilk konsantrasyon, uranyum iyonlarının denge konsantrasyonu ( $\text{mg L}^{-1}$ ) ve sıvı faz konsantrasyonu; m, adsorban (g) 'nin miktarı; çözeltinin hacmi (L) ve A (%), adsorpsiyon yüzdesidir (Yi ve ark, 2016).

### 2.3. Adsorpsiyon Kinetikleri

Uranyum adsorpsiyon kinetiği, pseudo birinci dereceden ve pseudo ikinci dereceden modellerle aşağıdaki eşitliklere göre araştırıldı.

$$\ln (q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 \cdot t \quad (4)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (5)$$

Burada;  $q_t$  ve  $q_e$ , adsorpsiyon kapasitesi ve dengede adsorbe edilen U(VI) miktarıdır ( $\text{mg g}^{-1}$ ),  $k_1$  ( $1 \text{ dk}^{-1}$ ) ve  $k_2$  ( $\text{g mg}^{-1} \cdot \text{dk}^{-1}$ ), sırasıyla sahte birinci mertebeye ve sahte ikinci mertebeye modelinin oran sabitidir (Chen ve ark., 2018).

### 2.4. Adsorpsiyon İzotermi

Denge verileri, en uygun izotermi elde etmek için Langmuir izotermi, Freundlich izotermi, Temkin ve Dubinin-Radushkevich izoterm modelleri yardımıyla incelenmiştir.

#### 2.4.1. Langmuir İzotermi

Langmuir modeli, enerjisel olarak eşdeğer bölgelerde bir tek tabakalı sorpsiyonun gerçekleştiğini varsayar. Langmuir denklemi aşağıdaki eşitlik olarak verilmiştir (Kong ve ark., 2016):

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{max} b} + \frac{1}{q_{max}} C_e \quad (6)$$

$$R_L = \frac{1}{1 + b C_0} \quad (7)$$

$q_e$  ( $\text{mg g}^{-1}$ ) adsorban üzerine adsorbe edilen metal iyonlarının miktarıdır,  $C_e$  ( $\text{mg L}^{-1}$ ) çözeltide toryum denge konsantrasyonu, b ( $\text{L mg}^{-1}$ ) ve  $q_{max}$  ( $\text{mg g}^{-1}$ ) Langmuir sırasıyla adsorpsiyon enerjisi ve adsorpsiyon kapasitesiyle ilgili sabitler. Boyutsuz ayırma faktörü olan  $R_L$ , sorbat ve sorbent arasındaki afiniteyi tahmin etmek için kullanılabilir.  $R_L$  değeri, emilim işlemi şu şekilde açıklar:  $R_L > 1$ , olumsuz;  $R_L = 1$ , doğrusal;  $0 < R_L < 1$ , uygun ve  $R_L = 0$ , geri döndürülemez ( Bulut ve ark., 2018).

#### 2.4.2. Freundlich İzotermi

Freundlich izotermi bilinen en eski ilişkidir ve sorpsiyon işleminin ideal olmayan, geri dönüşümlü ve çok katmanlı olduğunu varsayar. Model denklemi aşağıdaki şekilde yazılmıştır (Chen ve ark, 2017).

$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (8)$$

Eşitlikte;  $q_e$  ( $\text{mg g}^{-1}$ ), radyonüklidin dengede emme kapasitesidir,  $K_f$  ( $\text{mg}^{1-(1/n)} \text{L}^{1/n} \text{g}^{-1}$ ) Freundlich sabiti ve n, heterojenite faktörüdür.

#### 2.4.3. Temkin İzotermi



Temkin izotermi, tabakadaki tüm sorbatların sorpsiyon ısısının, sorbent-sorbat etkileşimlerinden dolayı kapsama ile doğrusal olarak azaldığını ve ayrıca sorpsiyon işleminin, bir miktar bağlanma enerjisinin bir miktar maksimum bağlanma enerjisine kadar düzgün bir şekilde dağılmasıyla karakterize olduğunu varsayar. Bu model aşağıdaki denklemle ifade edilir (Rahmani-Sani ve ark., 2015).

$$q_e = B \ln(K_T) + B \ln(C_e) \quad (9)$$

Buradaki;  $K_T$  ( $Lg^{-1}$ ), maksimum bağlanma enerjisine karşılık gelen denge bağlanma sabitidir ve B sabiti, emilim ısısı ile ilgilidir ( $B=RT/b$ ).

#### 2.4.4. Dubinin-Radushkevich İzotermi

Dubinin-Radushkevich (D-R) izoterm modeli, sorpsiyon eğrilerinin özelliklerinin sorbentin gözenekli yapısı ile ilişkili olduğunu varsaymaktadır. Model denklemini aşağıdaki denklemler olarak verilmiştir (Khalili ve Al-Banna, 2015):

$$\ln q_e = \ln q_0 - \beta \varepsilon^2 \quad (10)$$

$$\varepsilon = RT \ln(1 + (1/C_e)) \quad (11)$$

Burada;  $\varepsilon$  Polanyi potansiyeli, R ( $8.314 J/mol.K$ ) gaz sabiti, T (K) sıcaklık,  $C_e$  (mol/L) denge derişimi,  $q_0$  (mol/g) maksimum emilimdir DR modeline göre kapasite ve  $\beta$  ( $mol/J^2$ ), sorpsiyon enerjisine bağlı sabittir. Ortalama soğurma enerjisi (E, J/mol) aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$E = \frac{1}{\sqrt{2\beta}} \quad (12)$$

E büyüklüğü, fiziksel ya da kimyasal olup olmadığına göre, sorpsiyon işlemi tipi hakkında fikir verebilir.

## 2.4. Termodinamik Çalışmalar

Adsorpsiyon işlemi için termodinamik parametreler [entalpi değişimi ( $\Delta H^\circ$ ), entropi değişimi ( $\Delta S^\circ$ ) ve Gibbs serbest enerji değişimi ( $\Delta G^\circ$ )] aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır (Liu ve ark., 2017):

$$\ln K_d = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{RT} \quad (13)$$

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ \quad (14)$$

$$K_d = \frac{C_A}{C_S} \quad (15)$$

Eşitlikte;  $K_d$ , termodinamik dağılım katsayısıdır, T, sıcaklık (K) ve R, gaz sabitidir ( $8.3145 J mol^{-1} K^{-1}$ ).  $C_A$  ve  $C_S$ ; dengede (mol/L) adsorbe edilmiş uranyum miktarı (sırasıyla mol/L) ve dengede kalan (solüsyonda kalan miktar) (mol/L).  $\Delta S^\circ$  ve  $\Delta H^\circ$  değerleri  $\ln K_d$  ve  $1/T$  arasında çizilen grafiğin eğiminden hesaplanmıştır.  $\Delta G^\circ$  değeri yukarıdaki denklemden bulunur.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Karakterizasyon Çalışmaları

#### 3.1.1. FTIR Analizi

Adsorban olarak kullanılmak üzere üç aşamada sentezlenen monomer, polimer ve amidoksimatlı polimer aşamalarının yapısal karakterizasyonu Bio-Rad-Win-IR model FT-IR spektrofotometresi kullanılarak yapılmıştır. Spektrumlar,  $4000-400 cm^{-1}$  aralığında tarama yapılarak elde edilmiştir.

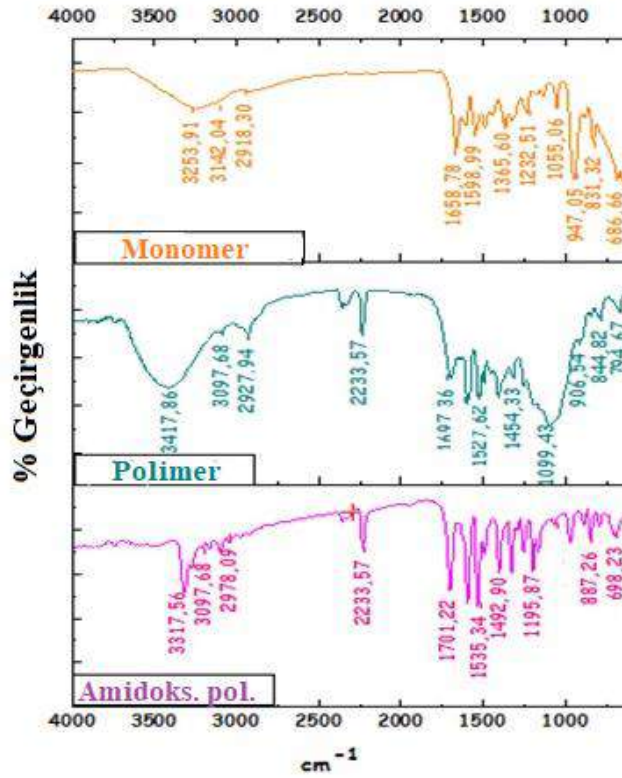
FT-IR spektrumunda elde edilen spektrumlar Şekil 4'te verilmektedir. Her bir grup belli bir absorpsiyon enerji bandına sahip olduğu için FT-IR spektroskopisi ile N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid monomeri, poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid]polimeri ve amidoksimatlı poli[N- (3,4-disiyanofenil) akrilamid] üzerindeki fonksiyonel gruplar tanımlanabilir.

Şekil 4'te N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid'e ait FT-IR spektrumu incelendiğinde  $3317 cm^{-1}$  enerji bandında O-H ve N-H gerilim titreşimi;  $3097 cm^{-1}$ 'de aromatik C-H gerilimi;  $2978 cm^{-1}$ 'de alifatik gruplardaki ( $-CH_2$ ,  $-CH_3$  ve  $-CH_2CH_3$ ) asimetrik ve simetrik C-H gerilme titreşimleri;  $2233 cm^{-1}$ 'de  $-C\equiv N$  gerilim titreşimi;  $1701 cm^{-1}$ 'de C=O gerilim titreşimi;  $1535-1492 cm^{-1}$  enerji bandında aromatik halka C=C gerilim titreşimi;  $1195 cm^{-1}$ 'de CN gerilim titreşimi;  $895-665 cm^{-1}$  bandında ise alken =C-H bükülmesi gözlenmiştir (Gao ve ark., Liu ve ark., 2017).

poli[N- (3,4-disiyanofenil) akrilamid]'in FT-IR spektrumu incelendiğinde (Şekil 4),  $3417 cm^{-1}$  bandında O-H ve N-H gerilme titreşimleri;  $3097 cm^{-1}$ 'de aromatik C-H gerilimi;  $2927 cm^{-1}$ 'de alifatik gruplardaki ( $-CH_2$ ,  $-CH_3$  ve  $-CH_2CH_3$ ) asimetrik ve simetrik C-

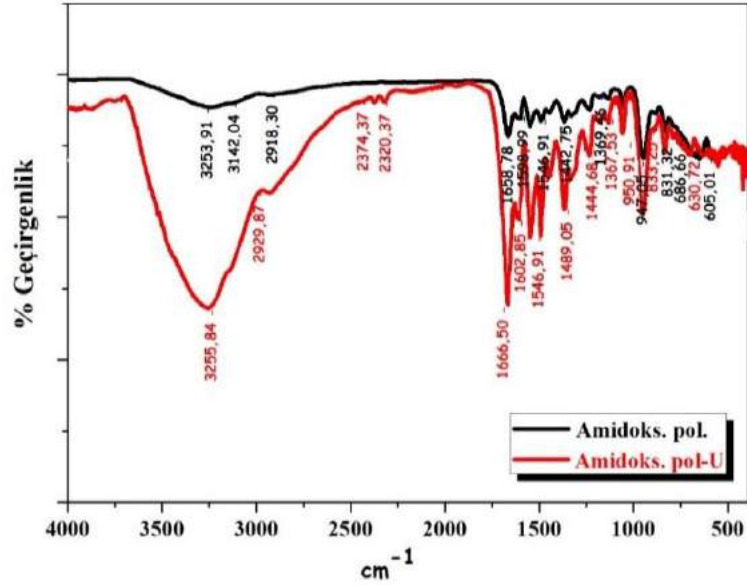
H gerilme titreşimleri; 2233  $\text{cm}^{-1}$ 'de  $\text{-C}\equiv\text{N}$  gerilim titreşimi; 1697  $\text{cm}^{-1}$ 'de  $\text{C}=\text{O}$  gerilim titreşimi; 1527-1454  $\text{cm}^{-1}$  enerji bandında aromatik halka  $\text{C}=\text{C}$  gerilim titreşimi; 1099  $\text{cm}^{-1}$ 'de monomerden farklı olarak  $\text{NH}_2$  gerilim titreşimi ile 906  $\text{cm}^{-1}$ 'de  $=\text{N}-\text{OH}$  gerilim titreşimi; 844-794  $\text{cm}^{-1}$  bandında ise alken  $=\text{C}-\text{H}$  bükülmesi belirlenmiştir.

Amidoksimatlı poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid]'in FT-IR spektrumunda ise 3253-3142  $\text{cm}^{-1}$  bandında O-H ve N-H bağlarının gerilim titreşimleri; 2918  $\text{cm}^{-1}$ 'de alifatik gruplardaki ( $-\text{CH}_2$ ,  $-\text{CH}_3$  ve  $-\text{CH}_2\text{CH}_3$ ) asimetric ve simetric C-H gerilme titreşimleri gözlenmiş; fakat monomer ve polimerde 2233  $\text{cm}^{-1}$ 'de bulunan  $\text{-C}\equiv\text{N}$  grubuna ait pik amidoksimasyon sonucu kaybolmuştur. 1658  $\text{cm}^{-1}$ 'de  $\text{C}=\text{N}$  gerilim titreşimi; 1598  $\text{cm}^{-1}$ 'de aromatik halka  $\text{C}=\text{C}$  gerilim titreşimi; 1365  $\text{cm}^{-1}$ 'de N-O gerilim titreşimi; 1232-1055  $\text{cm}^{-1}$  bandında C-N gerilim titreşimi; 947  $\text{cm}^{-1}$ 'de  $=\text{N}-\text{OH}$  gerilim titreşimi; 831-686  $\text{cm}^{-1}$  bandında ise alken  $=\text{C}-\text{H}$  bükülmesi tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid ve poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid] 2233  $\text{cm}^{-1}$  bandında bulunan  $\text{-C}\equiv\text{N}$  grubuna ait piklerin kaybolması ile 1658 ve 947  $\text{cm}^{-1}$  de gözlenen  $\text{C}=\text{N}$  ve  $=\text{N}-\text{OH}$  bantlarının oluşumu amidoksimasyonun varlığını kanıtlamıştır (Baybaş ve ark., 2010). Amidoksimatlı poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid]'in fonksiyonel grupları incelendiğinde, uranyum adsorpsiyonu için uygun bir adsorban olduğu görülmektedir.



Şekil 4. N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid, poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid] ve amidoksimatlı poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid]'in FT-IR grafikleri

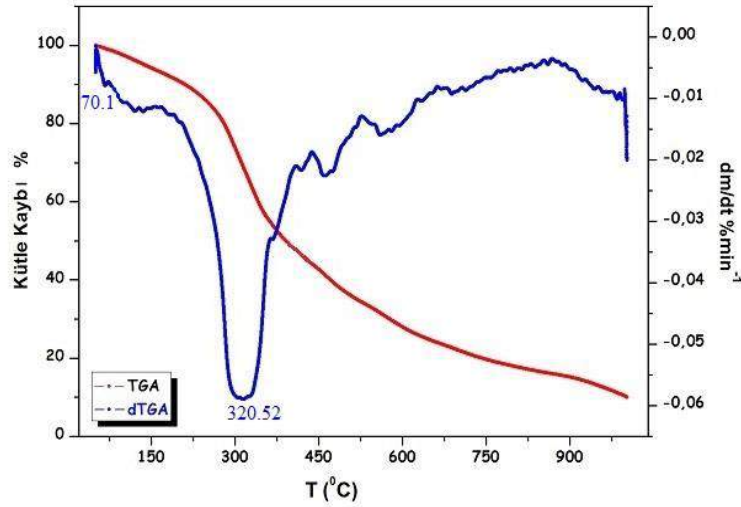
Amidoksimatlı poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid] adsorbanının adsorpsiyon öncesi ile uranyum iyonları adsorpsiyonu sonrası elde edilen FTIR grafiği Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Uranyum adsorpsiyonu öncesi ve sonrasına ait FT-IR grafikleri

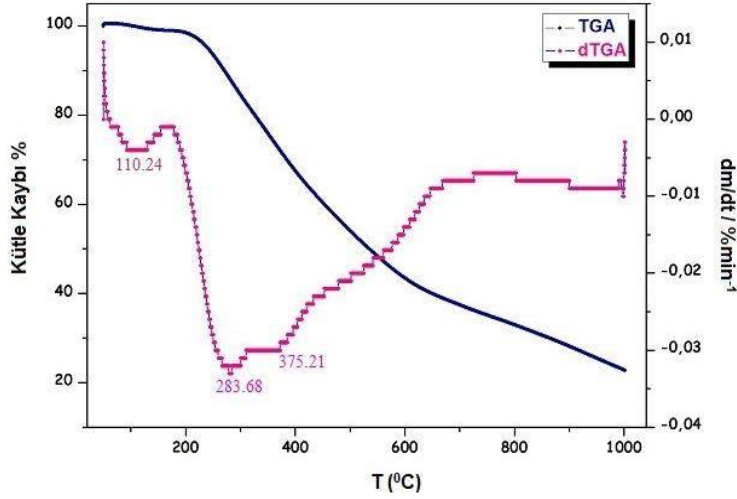
### 3.1.2. TGA/DSC Analizi

poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid] ile amidoksimatlı poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid]'in termal kararlılıkları, camlı geçiş sıcaklığı ve erime sıcaklık değerleri, TGA/DSC analizleri Setaram Labsys Evo Gravimetric Analyzer 1600 model cihazı kullanılarak belirlendi. Yaklaşık 4-6 mg numune seramik bir kroze içine yerleştirilerek 50-1000°C aralığında Argon atmosferi altında 100 mL/dak akışla 10°C/dak ısıtma hızında analiz edildi. poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid] ile amidoksimatlı poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid]'e ait TGA termogramları Şekil 6 ve 7'de verilmiştir.



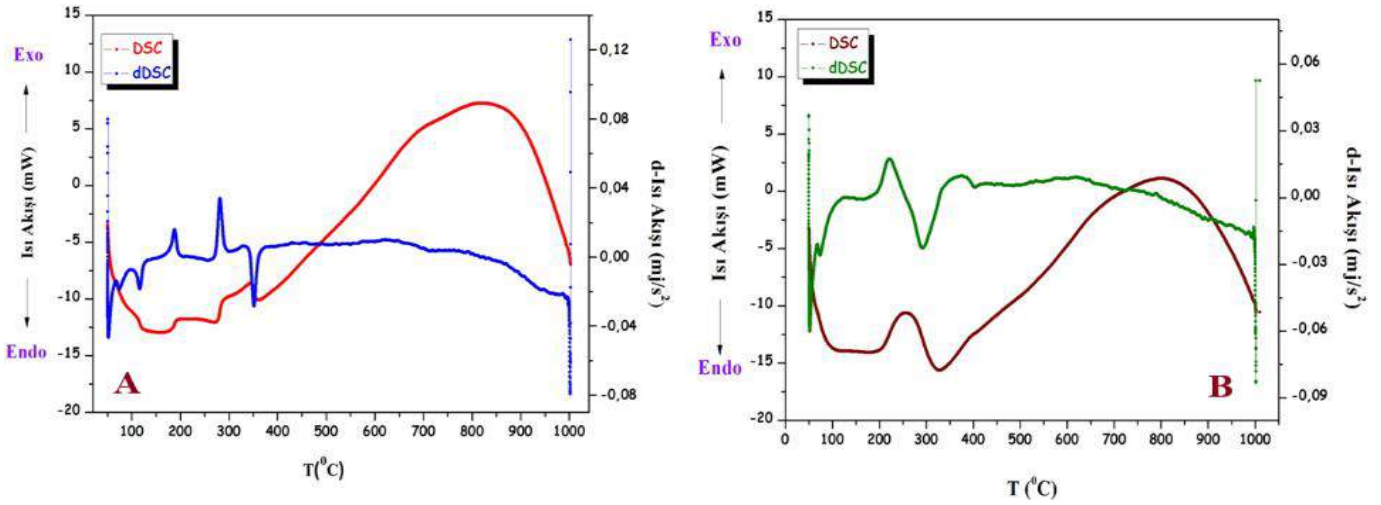
Şekil 6. poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid]'in TGA termogramı

poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid]'e ait TGA termogram incelendiğinde (Şekil 6), iki basamaklı bir bozunma olduğu görülmektedir. Bu bozunmalar türev grafiğinden de görüldüğü üzere 70°C ve 320°C'de başlamaktadır. 1. bozunma basamağında polimer içindeki absorplanmış su, çözücü ve monomer gibi küçük mol kütleli bileşenlerden oluşan yaklaşık %8'lik madde uzaklaşmaktadır. 2. bozunma basamağında polimer zincir yapısı bozunmaktadır. %50'lik madde kaybı 390°C'de gerçekleşmiştir. 1000°C'ye kadar ısıtıldığında ise polimerin %90'ı bozunarak geriye %8'lik kısmı bozunmadan kalmıştır. Bu değerler, polimer zincir yapısının düzenli olduğunu ve termal geçişleri etkileyen C=O ve N-H grupları arasındaki moleküller arası hidrojen bağ etkileşimlerinin, termal kararlılığı arttırdığını göstermektedir (Can ve ark., 2006).



Şekil 7. Amidoksimatlı poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid]'in TGA termogramı

Amidoksimatlı poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid]'e ait TGA termogramı (Şekil 7) polimerin ısıl kararlılığının amidoksim dönüşümü ile arttığı görülmektedir. Ayrıca, amidoksimasyon işlemi bozunmanın yavaşlamasına da neden olmaktadır. İki basamaklı bir bozunma gerçekleşmiştir. İlk basamakta 110°C'de başlayan bozunma ile yapıya tutunan suyun uzaklaşması sonucu %2'lik bir madde kaybı oluşmaktadır. İkinci basamakta ise 283°C'de yer alan pik C≡N gruplarının amidoksim gruplarına dönüşmesiyle oluşan bozunma pikini, 375°C'deki pik ise polimere ait bozunma pikini vermektedir. Görüldüğü gibi yapıya dahil olan hacimli amidoksim grupları polimer zincirindeki gruplar arasında oluşan muhtemel H-bağları sebebiyle polimerin bozunmasını 320°C'den 375°C'ye kaydırmıştır. %50'lik bozunmanın gerçekleştiği sıcaklık 532°C'ye yükselmiştir. 1000°C'de bozunun amidoksimlenmiş polimerin oranı %78'dir. %22'lik kısmı ısıtma işlemi tamamlandığında bozunmadan kalmıştır. Bu değerler göz önüne alındığında, amidoksimasyon sonucu yapının ısıl kararlılığının daha da arttığı söylenebilir.



Şekil 8. A) poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid]'in ve B) amidoksimatlı poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid]'in DSC termogramı

DSC termogramları incelenerek polimer yapıların camsı durumdan kauçuğumsu duruma geçişini karakterize eden camsı geçiş sıcaklığı ve ısı etkisi ile polimerlerde oluşan fiziksel ve kimyasal değişimler açıklanabilmektedir. Şekil 8/a'da poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid] ait DSC eğrisi incelendiğinde, camsı geçiş sıcaklığının ( $T_g$ ) 70°C, erime sıcaklığının ( $T_m$ ) 271°C olarak tespit edildiği ve yapıda egzotermik kristal oluşumunun gerçekleştiği görülmektedir. Şekil 8/b'de amidoksimatlı poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid]'e ait DSC eğrisinden de  $T_g$ 'nin 110°C ve  $T_m$ 'nin 327°C olduğu ve yine yapıda egzotermik kristal oluşumu meydana geldiği tespit edilmiştir. Polimerin amidoksimasyonu sonucu yapıdaki çapraz bağ oranı arttığı için  $T_g$  ve  $T_m$  değerleri de artmıştır. Amidoksimatlı polimer daha yüksek ısıl kararlılığa ulaşmıştır.

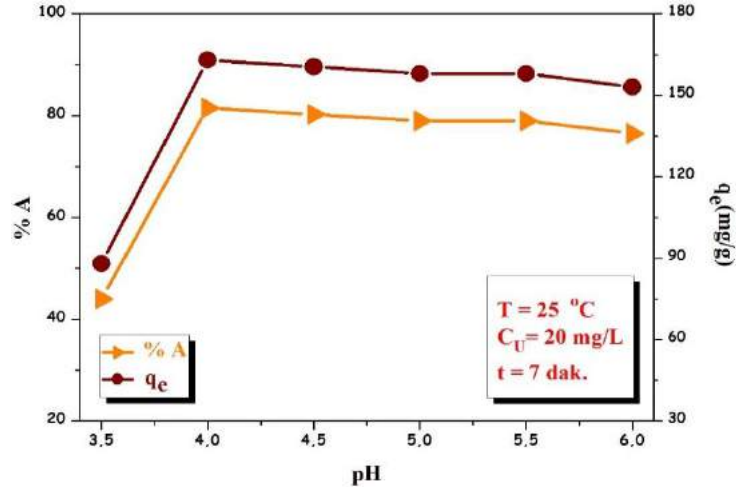
### 3.2. Uranyumun Amidoksimatlı poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid] Üzerine Adsorpsiyonu

Amidoksimatlı poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid] adsorbantı kullanılarak, sulu çözeltilerden U(VI) iyonlarının adsorpsiyonu kesikli (batch) yöntemle çalışılmıştır. Adsorpsiyon üzerine etki eden dört farklı parametre incelenmiştir. Bu parametreler; temas süresi, pH, başlangıç konsantrasyonu ve sıcaklık etkisidir.

### 3.2.1. pH etkisi

pH Çözelti pH'ı, adsorpsiyon işlemini etkileyen en önemli parametrelerden biridir. pH miktarı, adsorbanın yüzey yükünü, iyonlaşma derecesini ve adsorbent karakteristiklerini belirler. pH'nın uranyum alımı üzerindeki etkisini değerlendirmek için 0.001 g adsorban, 20 mg/L'lik 10 ml uranyum çözeltisi ile farklı pH değerlerinde (3.5 ila 6.0) 7 dakika boyunca 25 °C sıcaklığında karıştırıldı. Çözeltinin pH'ı, uygun miktarlarda asetik asit ve sodyum hidroksit ilave edilerek ayarlandı. Daha sonra karışım filtre kâğıdı ile süzüldü. Süzüntüdeki U(VI) iyonlarının kalıntı konsantrasyonları UV spektrofotometre ile belirlenmiştir (Şekil 9). Çalışmamızda optimum pH 4.0 olarak bulunmuştur.

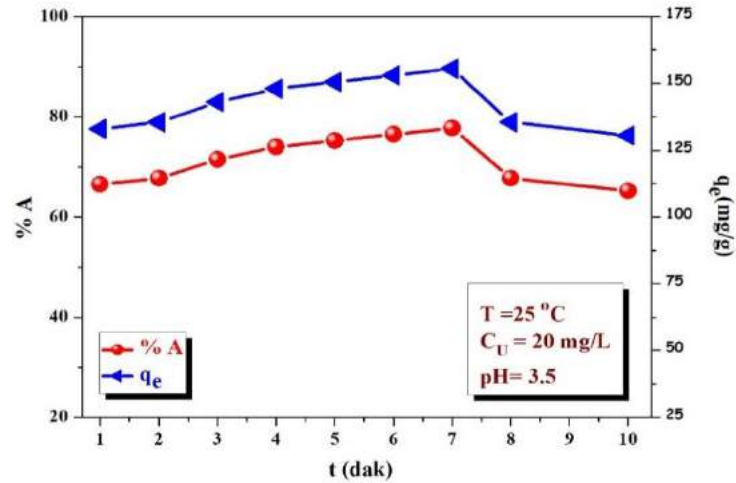
pH 1-4 arasında  $H_3O^+$  ve  $UO_2^{+2}$  iyonlarının adsorpsiyonunda bir yarışma söz konusudur. Sulu çözeltilerde pH < 2,5'ta uranil iyonları oldukça stabildir. pH 4'te baskın tür olarak  $UO_2^{+2}$  ön plana çıkmaktadır (Sorg, 1991; Qadeer ve Saldem, 1997).



Şekil 9. pH'nın U(VI) adsorpsiyonu üzerine etkisi

### 3.2.2. Temas süresi etkisi ve kinetik çalışmalar

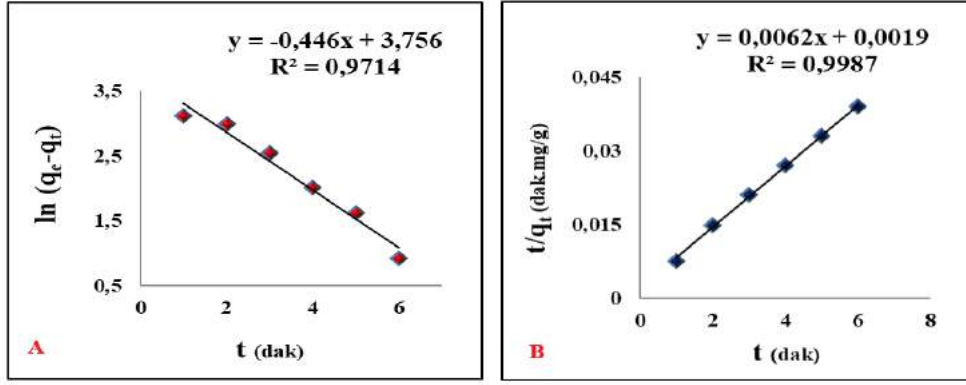
Temas süresi etkisi için; 20 mg/L'lik U(VI) çözeltilerinin 25°C sıcaklık ve pH 3.5'ta, 0.001 g adsorban tarafından değişen sürelerde (1-10 dakika) adsorpsiyonu incelenerek, elde edilen veriler Şekil 10' da gösterilmiştir. Optimum temas süresi 7 dakika olarak belirlenmiştir.



Şekil 10. Temas süresinin U(VI) adsorpsiyonu üzerine etkisi

Temas süresi verilerinin kinetik modellere ait matematiksel denklemlere (4, 5) uygulanmasıyla elde edilen grafikler Şekil 11' de kinetik modellerin hesaplanan parametreleri ise Tablo 1'de gösterilmektedir.





Şekil 11. Uranyum adsorpsiyonu için (a) pseudo birinci derece (b) pseudo ikinci derece adsorpsiyon kinetiği

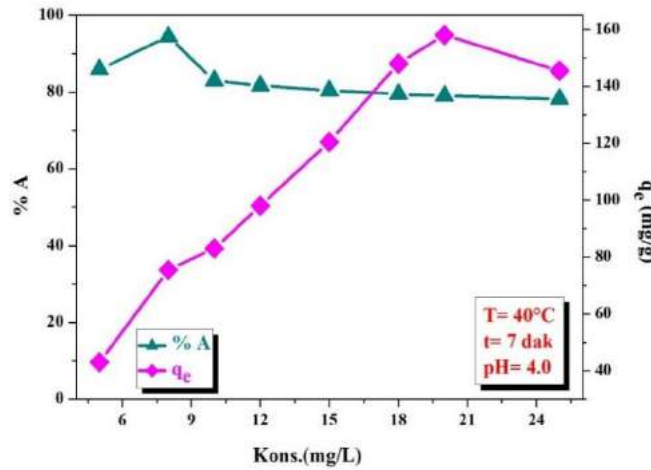
Tablo 1. Uranyum Adsorpsiyonu için Kinetik Parametreler

	Pseudo birinci derece			Pseudo ikinci derece			DeneySEL $q_{exp}$ (mg/g)
	$k_1$ ( $dak^{-1}$ )	$q_{e1}$ (mg/g)	$R_1^2$	$k_2$ ( $gmg^{-1}dak^{-1}$ )	$q_{e2}$ (mg/g)	$R_2^2$	
U(VI)	0.45	42.78	0.9714	0.084	161.3	0.9987	155.5

Tablo 1’de gösterilen pseudo birinci ve pseudo ikinci dereceli modellerin parametre sonuçları, pseudo ikinci kinetik modelinin korelasyon katsayısının ( $R^2$ ) 0.9879 olduğunu ve teorik kapasitenin ( $q_e$ ) deneysel kapasiteye daha yakın olduğunu (161.3 mg/g) göstermektedir. Bu sonuçlar, pseudo ikinci derece kinetik modelinin hız kontrol basamağı olarak adsorpsiyon mekanizmasıyla uyumlu olduğunu göstermektedir.

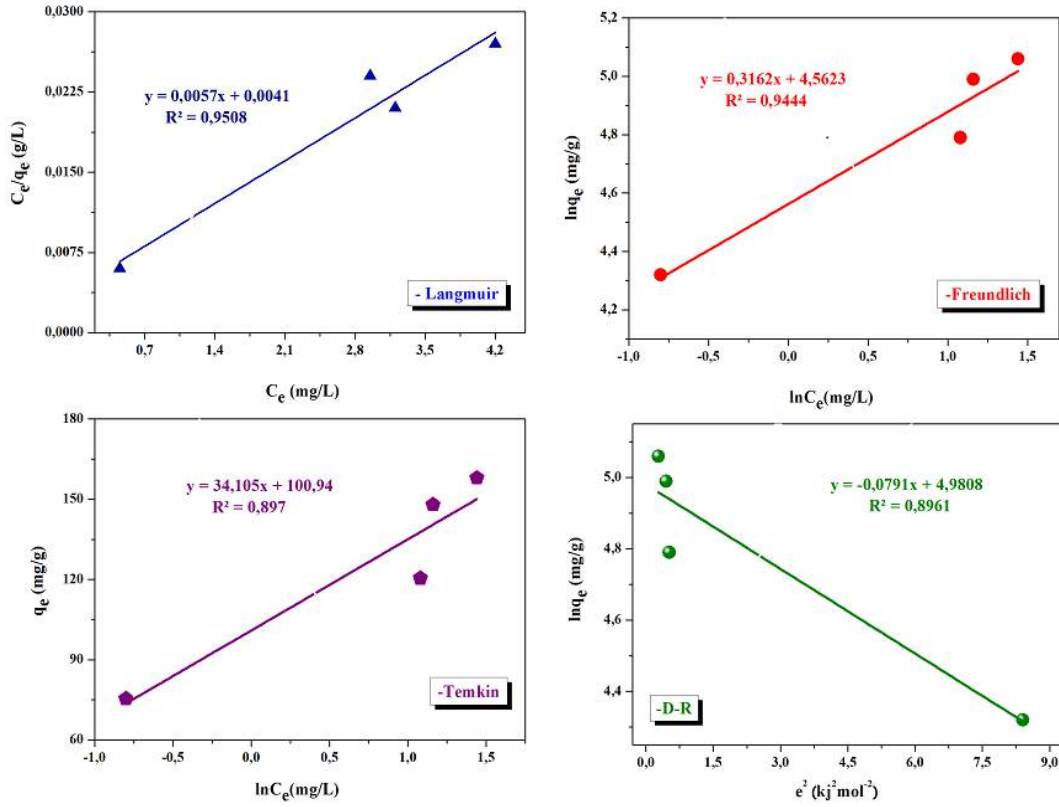
### 3.2.3. Başlangıç konsantrasyonu etkisi ve adsorpsiyon izotermi

Uranyumun adsorpsiyon davranışını etkileyebilen adsorpsiyon sistemindeki en önemli parametrelerden biri, metal iyonunun ilk konsantrasyonudur. U(VI) iyonlarının başlangıç konsantrasyonunun, amidoksimatlı poli[N-(3,4-disiyanojenil) akrilamid]’in adsorpsiyon kapasitesi üzerindeki etkisi, bir dizi başlangıç iyon konsantrasyonu kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar Şekil 12’de gösterilmektedir. U(VI) iyonları için optimum başlangıç konsantrasyon değeri 8 mg/L olarak belirlenmiştir.



Şekil 12. Başlangıç konsantrasyonunun U(VI) adsorpsiyonu üzerine etkisi

Denge verileri, deney sonuçlarını ve gerçek adsorpsiyon davranışını açıklamak için sık kullanılan izoterm modelleri, yani Langmuir, Freundlich, Temkin ve Dubinin-Radushkevich (D-R izotermi) kullanılarak modellenmiştir. Adsorpsiyon izotermi araştırılmasında 5-25 mg/L aralığındaki uranyum çözeltileri kullanılmıştır. Langmuir, Freundlich, Temkin ve Dubinin-Radushkevich izoterm modellerine ait grafikler Şekil 13’te, izoterm sabitlerinin hesaplanan sonuçları ise Tablo 2’de gösterilmiştir.



Şekil 13. Amidoksimatlı poli[N-(3,4-disyanofenil) akrilamid] üzerine uranyum adsorpsiyonu için izoterm grafikleri

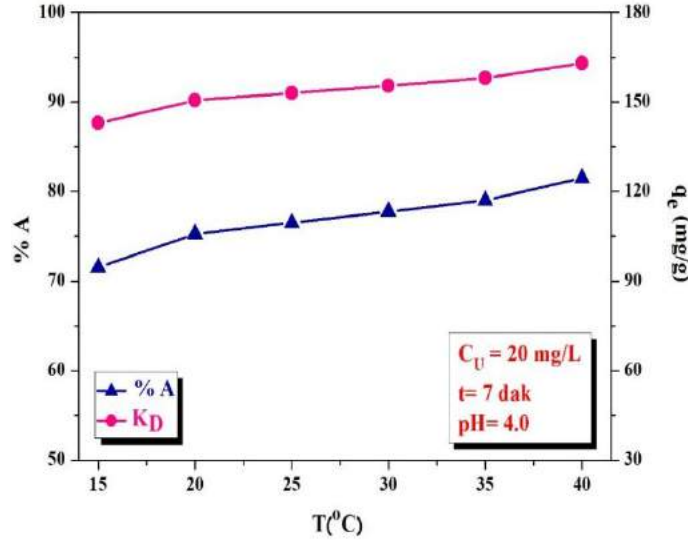
Tablo 2. Uranyum Adsorpsiyonu için İzoterm Parametreleri

Langmuir					Freundlich		
	$q_{max}(mg/g)$	$R_L$	$b(L/mg)$	$R^2$	$K_f(mg/g)$	$n$	$R^2$
$U(VI)$	175.4	0.09	1.34	0.9508	95.8	3.16	0.9444
Dubinin-Radushkevich					Temkin		
	$q_m(mg/g)$	$\beta(mol^2kJ^{-2})$	$E(kJ/mol)$	$R^2$	$K_T(L/g)$	$B(J/mol)$	$R^2$
$U(VI)$	145.6	0.08	1.77	0.8961	19.3	34.1	0.897

Langmuir, Freundlich, Dubinin-Radushkevich ve Temkin izoterm parametreleri ve korelasyon katsayıları Tablo 2'de verilmiştir. Korelasyon katsayıları ( $R^2$ ) karşılaştırıldığında, Langmuir modelinin diğer izoterm modellerine göre daha yüksek korelasyon katsayısına sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca 0.09 olarak belirlenen  $R_L$  değeri ( $0 < R_L < 1$ ), amidoksimatlı poli[N-(3,4-disyanofenil) akrilamid] adsorbantının uranyumun adsorpsiyonu için uygun olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, adsorpsiyon süreci Langmuir izoterm modeli tarafından daha uygun şekilde açıklanmaktadır. Langmuir izotermine deneysel verilere çok iyi uyması, aktif bölgelerin amidoksimatlı poli[N-(3,4-disyanofenil) akrilamid] üzerindeki homojen dağılımına bağlı olabilir. Çünkü Langmuir denklemi yüzeyin homojen olduğunu varsayar. Tablo 2'deki Dubinin-Radushkevich izotermine E değeri 1.77 kJ/mol olduğu için de uranyum adsorpsiyonunun fiziksel adsorpsiyonla gerçekleştiği düşünülmektedir.

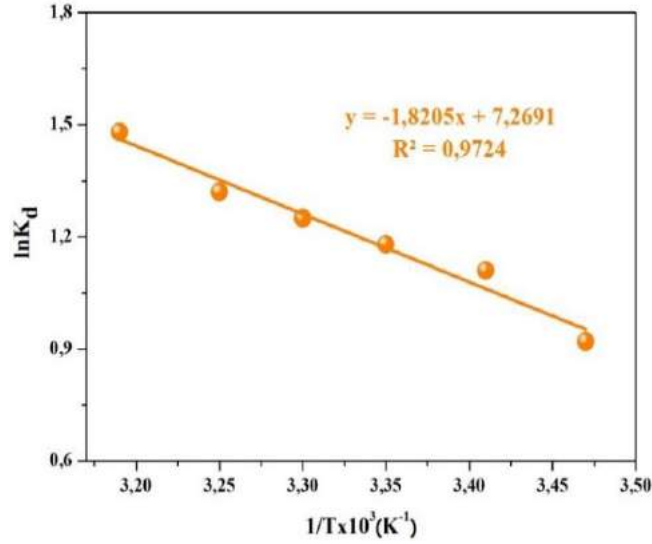
### 3.2.4. Sıcaklık etkisi ve termodinamik çalışmalar

Sıcaklığın, amidoksimatlı poli[N-(3,4-disyanofenil) akrilamid] adsorbantı üzerindeki uranyum adsorpsiyonu üzerindeki etkisini incelemek için, 15 ile 40 °C arasında değişen farklı sıcaklıklar kullanılarak bir dizi adsorpsiyon deneyi yapıldı. Bu deney serisinde diğer parametreler sabit tutuldu, yani 0.001 g adsorbant, başlangıçta 20 mg/L uranyum konsantrasyonu, pH 4.0 ve 7 dakika temas süresi. Elde edilen sonuçlar, Şekil 14'te gösterilmiştir. Grafiğe göre, uranyum adsorpsiyon verimliliğinin artan sıcaklıkla arttığı açıktır. Bu adsorpsiyon reaksiyonunun bir endotermik süreç olduğunu göstermektedir.



Şekil 14. Sıcaklığın U(VI) adsorpsiyonu üzerine etkisi

K<sub>d</sub>' nin 1/T'ye karşı grafiği Şekil 15'te gösterilmektedir. ΔH° ve ΔS° değerleri grafiğin eğim ve kesişiminden elde edilir ve bu sonuçlar Tablo 3'te gösterilmektedir.



Şekil 15. U(VI) iyonlarının adsorpsiyonunda ln Kd' nin 1/T ile değişimi

Tablo 3. Adsorpsiyon çalışmalarının termodinamik parametreleri

Termodinamik parametreler					
	Sıcaklık (K)	ΔH° (J/mol)	ΔS° (J/mol K)	TΔS° (kJ/mol)	ΔG° (kJ/mol)
U(VI)	288	15.14	60	17.28	-2.2
	293			17.58	-2.7
	298			17.88	-2.92
	303			18.18	-3.15
	308			18.48	-3.38
	313			18.78	-3.85

Adsorpsiyonun entalpi değişimi (ΔH°) ve entropi değişimi (ΔS°) 15.14 J/mol ve 60 J/mol.K' dir. ΔH°'nin pozitif değeri, U(VI) iyonlarının adsorpsiyonunun doğada endotermik olduğunu ve ΔS°'nin pozitif değerinin, adsorpsiyon sisteminin stabilitesini gösterdiğini ve adsorpsiyon süreci sırasındaki rasgelelikteki bir artışı yansıttığını göstermektedir. Ayrıca, ΔG° değeri artan sıcaklıkla azalır, bu da uranyumun amidoksimatlı poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid] üzerine adsorpsiyon işleminin kendiliğinden olduğunu ve daha yüksek sıcaklıkların uranyum adsorpsiyonu için daha uygun olduğunu gösterir.

## 4. Sonuç

Uranyumun sulu çözeltilerden yüksek verimli şekilde çıkarılması için yeni bir amidoksimatlı poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid] adsorbani geliştirilmiştir. Amidoksimatlı poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid] adsorbani, üç aşamada sentezlendi. İlk olarak N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid monomeri sentezlenmiş ve daha sonra bu monomer AIBN başlatıcısı kullanılarak toluen ortamında polimerleştirilerek poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid] elde edilmiştir. Son aşamada ise polimer, hidroksilamin hidroklorür ile sodyum hidroksit çözeltisi içerisinde amidoksimatlanmıştır. Yapısal karakterizasyon çalışmaları için yapılan FTIR analizi sonuçlarına göre de N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid ve poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid]'in  $2233\text{ cm}^{-1}$  bandında bulunan  $\text{C}\equiv\text{N}$  grubuna ait piklerin kaybolması ile  $1658$  ve  $947\text{ cm}^{-1}$ 'de gözlenen  $\text{C}=\text{N}$  ve  $=\text{N}-\text{OH}$  bantlarının oluşumu amidoksimasyonun varlığını kanıtlamaktadır. Adsorbani ısı davranışlarını tanımlamak amacıyla yapılan TGA/DSC analizleri sonuçlarına göre, poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid]'in amidoksimasyonu sonucu yapıdaki çapraz bağ oranı arttığı için adsorbani daha yüksek ısı kararlılığına ulaştığı belirlenmiştir. Amidoksimatlı poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid] yapısındaki amidoksim gruplarının varlığı, bu adsorbani uranyum adsorpsiyonu için uygun olduğunu göstermektedir.

Pseudo birinci dereceli kinetik model ve Pseudo ikinci dereceli kinetik model, amidoksimatlı poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid] üzerine uranyum adsorpsiyonu için değerlendirildi. En uygun kinetik model, pseudo ikinci dereceli kinetik model olarak bulundu. Langmuir, Freundlich, Temkin ve Dubinin-Radushkevich izotermal modelleri adsorpsiyon işlemine uygunlukları açısından incelendi. Adsorpsiyon denge verileri Langmuir izoterm modeline iyi uyum sağlamakta ve uranyumun maksimum adsorpsiyon kapasitesi  $175.4\text{ mg/g}$  olarak belirlenmiştir. Termodinamik parametrelerin analizi sonucunda adsorpsiyon proseslerinin kendiliğinden ve endotermik nitelikte olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, pozitif değere sahip entropi, uranyum iyonlarının amidoksimatlı poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid] adsorbaniye ilgi düzeyini göstermektedir.

Sonuçlar, ilk defa sentezlenen amidoksimatlı poli[N-(3,4-disiyanofenil) akrilamid] adsorbani uranyum iyonlarının sulu çözeltilerden giderilmesinde oldukça yüksek adsorplama kapasitesine sahip olduğunu göstermiştir. Amidoksim grupları içeren bu adsorbani madde, atık suların uranyum adsorpsiyonu için yapılacak sonraki çalışmalar için gelişmiş uranil afinitesi ve seçiciliği olan yeni polimerik malzemelerin rasyonel tasarımında temel bilgi sağlayabilir.

## Teşekkür

Bu çalışma, 2015-FBE-D031 No'lu doktora projesi olarak Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Birimi Tarafından desteklenmiştir.

## Kaynakça

- Aycan, H.Ş., Arslan, Z.K. (2017). Adsorpsiyon-Yüzey İlişkisi Konusunun Öğretiminde Aletli Analiz Uygulamalarının Fen Bilgisi Öğretmen Adaylarının Akademik Başarılarına Etkisi. *Journal of The Turkish Chemical Society*, 2, 107-126.
- Barber, P.S., Kelley, S.P., Rogers, R.D. (2012). Highly selective extraction of the uranyl ion with hydrophobic amidoxime-functionalized ionic liquids via  $\eta^2$  coordination. *RSC Advances*, 8526-8530.
- Baybaş, D., Güler, R., Güler, H., Ayçık, G.A., 2010. Amidoksimlenmiş Ağ Yapılı Bir Polimerin (IPN)  $^{228}\text{Ac}^{3+}$ ,  $^{212}\text{Pb}^{2+}$ ,  $^{212}\text{Bi}^{3+}$ ,  $^{208}\text{Tl}^{+}$  ve  $\text{UO}_2^{2+}$  İçin Adsorbani Özelliklerinin İncelenmesi. C.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi, Fen Bilimleri Dergisi. 31, 43-54.
- Bulut, A., Yuşan, S., Aytas, S., Sert, S. (2018). The use of sea shell (Donax trunculus) powder to remove Sr(II) ions from aqueous solutions. *Water Science & Technology*, 78, 87-836.
- Can, H.K., Doğan, A.L., Rzaev, Z.M.O., Üner, A.H., Güner, A. (2006). Synthesis, characterization, and antitumor activity of poly(maleic anhydride-co-vinyl acetate-co-acrylic acid). *Journal of Applied Polymer Science*, 100, 3425-3432.
- Chen, B., Wang, J., Kang, L., Mai, X., Zheng, N., Zhang, Q., Liang, J., Chen, D. (2017). Adsorption of uranium from uranium mine contaminated water using phosphate rock apatite (PRA): Isotherm, kinetic and characterization studies. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 520, 612-621.
- Chen, M., Li, Z., Geng, Y., Zhao, H., He, S., Li, Q. (2018). Adsorption behavior of thorium on N,N,N',N'-tetraoctyldiglycolamid (TODGA) impregnated graphene aerogel. *Talanta*, 181, 311-317.
- Das, S., Brown, S., Mayes, R. T.; Janke, C. J., Tsouris, C., Kuo, L. J.; Gill, G., Dai, S. (2016). Novel poly(imide dioxime) sorbents: Development and testing for enhanced extraction of uranium from natural seawater. *Chemical Engineering Journal*, 298, 125-135.
- Gao, Q., Hu J., Li, R., Xing, Z., Xu, L., Wang, M., Guo, X., Wu, G. (2016). Radiation synthesis of a new amidoximated UHMWPE fibrous adsorbent with high adsorption selectivity for uranium over vanadium in simulated seawater. *Radiation Physics and Chemistry*, 122, 1-8.
- Gunathilake, C., Gorka, J., Dai, S., Jaroniec, M. (2015). Amidoxime-modified mesoporous silica for uranium adsorption under seawater condition. *Journal of Materials Chemistry A*, 3, 11650-11659.
- Huang, L., Zhang, L., Hua, D.J. (2015). Thin metal nanostructures: synthesis, properties and applications. *Radioanal Nuclear Chemistry*, 305, 445-453.
- Khalili, F., Al-Banna G. (2015). 'Adsorption of Uranium(VI) and Thorium(IV) by insolubilized humic acid from Ajloun soil-Jordan'. *Journal of Environmental Radioactivity*, 146, 16-26.
- Kong, L., Zhu Y., Wang M., Li Z., et. al. (2016). Simultaneous reduction and adsorption for immobilization of uranium from aqueous solution by nano-flake. *Journal of Hazardous Materials*, 320, 435-441.

- Kokosza, K., Balzarini, J., Piotrowska, D.G. (2013). Design, synthesis, antiviral and cytostatic evaluation of novel isoxazolidine nucleotide analogues with a carbamoyl linker. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 21, 1097–1108.
- Liu, S., Yang, Y., Liu, T., Wu, W. (2017). Recovery of uranium(VI) from aqueous solution by 2-picolylamine functionalized poly(styrene-co-maleic anhydride) resin. *Journal of Colloid and Interface Science*, 497, 385–392.
- Lu, X., He, S. N., Zhang, D. X., Reda, A. T., Liu, C., Feng, J., Yang, Z. (2016). Synthesis and characterization of amidoxime modified calix[8] arene for adsorption of U(VI) in low concentration uranium solutions. *RSC. Advances*, 6, 101087-101097.
- Qadeer, R., Saleem, M. (1997). Adsorption  $UO_2^{2+}$  ions on activated charcoal: pH effect. *Adsorption Science and Technology*, 15, 373-376.
- Pekel, N., Şahiner, N., Güven, O. (2000). Development of new chelating hydrogels based on N-vinyl imidazole and acrylonitrile. *Radiation Physics and Chemistry*, 59, 485-491.
- Rahman-Sani, A., Bandegharaei, A.H., Hosseini, S.H., Kharghani, K., Zarei, H., Rastegar, A. (2015). Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies on sorption of uranium and thorium from aqueous solutions by a selective impregnated resin containing carminic acid. *Journal of Hazardous Materials*, 286, 152–163.
- Shen, J. N., Yu, J., Chu, Y. X., Zhou, Y., Chen, W. J. (2012). Preparation and Uranium Sorption Performance of Amidoximated Polyacrylonitrile/Organobentonite Nano Composite. *Advanced Materials Research*, 476-478.
- Sorg, T.J. (1991). Radon, Radium and Uranium in Drinking Water. Removal of uranium from drinking water by conventional treatment methods, Cothorn and Rebers (Eds) Lewis Publishers, Michigan. ISBN 0873712072. 173-191.
- Stemper, J., Tuo, W., Mazario, E., Helal, A.S., Djurovic, A., Lion, C., Chahine, J.M., Maruel, F., Hemadi, M. (2018). Synthesis of bis(amidoxime)s and evaluation of their properties as uranyl-complexing agents. *Tetrahedron*, 74, 2641-2649.
- Tavengwa, N.T., Cukrowska, E., Chimuka, L. (2015). Selective Adsorption of Uranium (VI) on  $NaHCO_3$  Leached Composite  $\gamma$ -Methacryloxypropyltrimethoxysilane Coated Magnetic Ion-imprinted Polymers Prepared by Precipitation Polymerization. *South Africa Journal. Chemistry*, 68, 61–68.
- Xu, C.; Wang, J.; Yang, T.; Xia, C.; Liu, X.; Ding, X. (2015). Adsorption of uranium by amidoximated chitosan-grafted polyacrylonitrile, using response surface methodology. *Carbohydrate Polymers*, 121, 79-85.
- Wei, M. Liao, J.L. Liu, N. Zhang, D. Kang, H.J. Yang, Y.Y. Yong, Y. and Jin, J.N. (2007). Interaction between uranium and humic acid (I): adsorption behaviors of U(VI) in soil humic acids. *Nuclear Science and Techniques*, 18, 287–293.
- Yi, Z., Yao, J., Kuang, Y., Chen, H., Wang, F., Xu, S. (2016). Uptake of hexavalent uranium from aqueous solutions using coconut husk activated carbon. *Desalination and Water Treatment*, 57, 1749-1755.
- Zeng, J., Zhang, H., Sui, Y., Hu, Y., Ding, D., Wang, F., Xue, J., Wang, Y. (2017). New Amidoxime Based Material TMP-g-AO for Uranium Adsorption under Seawater Conditions. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 1-42.





# ***Phlomis grandiflora* H. S. Thompson var. *grandiflora* ve *Phlomis leucophracta* P. H. Davis & Hub.-Mor. Taksonlarının Farklı Toplama Zamanlarına Ait Uçucu Bileşenleri**

Güliz Türkmenoğlu<sup>1</sup>, Ayşe Gül Sarıkaya<sup>2\*</sup>, Hüseyin Fakir<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Akseki MYO, Ormancılık Bölümü, Antalya, Türkiye

<sup>2</sup>Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi., Orman Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0641-4445)

<sup>3</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

(İlk Geliş Tarihi 7 Eylül 2019 ve Kabul Tarihi 10 Ekim 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.)

**ATIF/REFERENCE:** Türkmenoğlu, G., Sarıkaya, A. G. & Fakir, H. (2019). *Phlomis grandiflora* H. S. Thompson var. *grandiflora* ve *Phlomis leucophracta* P. H. Davis & Hub.-Mor. Taksonlarının Farklı Toplama Zamanlarına Ait Uçucu Bileşenleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 145-151.

## **Öz**

Genellikle otsu ve çalı formunda, tek yıllık veya çok yıllık, gövdesi salgı tüylü, hoş kokulu ve çoğunlukla dört köşeli bir yapıya sahip tıbbi-aromatik bitkilerden oluşan *Lamiaceae* familyasının en fazla tür sayısına sahip olan cinslerinden bir tanesi olan *Phlomis* cinsi, ülkemizde doğal olarak yayılış göstermektedir. *Phlomis* türlerinin yapraklarının kenarları tırtıklı olup, karşılıklı olarak dizilmiş, bitki yüzeyini kaplayan tüyler yıldız şeklinde ve çiçekleri mor, pembe, beyaz veya sarı renklidir. Halk arasında *Phlomis* türlerinin yaprakları ve çiçekleri iştah açıcı, antialerjik, idrar söktürücü, ishal kesici, gaz giderici, mide rahatsızlıklarına karşı, ağrı kesici, antidiabetik bitki çayı ve tonik olarak kullanılmaktadır. Akseki (Antalya) yöresinden 2018-2019 yılı vejetasyon dönemlerinde *Phlomis grandiflora* H. S. Thompson var. *grandiflora* ve *Phlomis leucophracta* P. H. Davis & Hub.-Mor. taksonlarına ait örnekler çiçeklenme öncesi (Nisan) ve çiçeklenme dönemi (Haziran) olmak üzere 2 farklı dönemde toplanarak, SPME (katı tabanlı mikro ekstraksiyon) yöntemine göre uçucu bileşenler gaz kromatografisi kütle spektroskopisi (GC-MS) yardımı ile tespit edilmiştir. Uçucu bileşenlerin tanımlanmasında Wiley, NIST Tutor ve FFNSC kütüphaneleri kullanılmıştır. *Phlomis grandiflora* H. S. Thompson var. *grandiflora*'da çiçeklenme öncesi (Nisan) dönemde ve çiçeklenme döneminde (Haziran) 36 farklı bileşen tespit edilmiş olup, ana bileşenler cis-Ocimene (%9,89; %10,84),  $\alpha$ -Cedrene (%33,10; %38,06) ve  $\alpha$ -Cubebene (%12,08; %13,82) olarak bulunmuştur. *Phlomis leucophracta* P. H. Davis & Hub.-Mor.'da çiçeklenme öncesi (Nisan) dönemde 38 adet ve çiçeklenme döneminde (Haziran) 33 adet farklı bileşen belirlenmiş ve ana bileşenler  $\alpha$ -Pinene (%10,89; %11,59), Limonene (%22,48; %27,86) ve Caryophyllene (%25,11; %26,55) oranlarıyla saptanmıştır. Her iki *Phlomis* taksonunda da çiçeklenme döneminde ana bileşenlerin oranlarında artış gözlenmiştir. Belirlenen bu bilgiler ışığında bitkilerin yanlış toplanması nedeniyle oluşabilecek ekonomik kayıpların önlenmesi hususunda bilinçlenmenin sağlanacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** *Phlomis grandiflora* H. S. Thompson var. *grandiflora*, *Phlomis leucophracta* P. H. Davis & Hub.-Mor.,  $\alpha$ -Cedrene, Limonene, Akseki (Antalya), çiçeklenme dönemi.

## **Volatile Components of *Phlomis grandiflora* H. S. Thompson var. *grandiflora* and *Phlomis leucophracta* P. H. Davis & Hub.-Mor. Taxa at Different Collection Times**

### **Abstract**

*Phlomis* genus, which is one of the most species of the genus *Lamiaceae* family, which consists of medicinal-aromatic plants with herbaceous and shrub form, one-year or perennial, body secretion hairy, aromatic fragrance and mostly quadrangular structure, is naturally distributed in Turkey. The edges of the leaves of *Phlomis* species are jagged, mutually aligned, star-shaped, covering the plant surface and the flowers are purple, pink, white or yellow in color. The leaves and flowers of *Phlomis* species are used as an

<sup>1</sup> Sorumlu Yazar: Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi., Orman Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye, ORCID: 0000-0002-0641-4445, [aysegulsarikaya86@gmail.com](mailto:aysegulsarikaya86@gmail.com)

appetizer, antiallergic, diuretic, diarrhea, gas reliever, against stomach ailments, painkillers, antidiabetic herbal tea and tonic. The samples of the taxa *Phlomis grandiflora* H. S. Thompson var. *grandiflora* and *Phlomis leucophracta* P. H. Davis & Hub.-Mor. were collected from Akseki (Antalya) province in 2 different periods as pre-flowering (April) and flowering period (June) of 2018-2019 vegetation period and volatile components were determined by gas chromatography mass spectroscopy (GC-MS) according to SPME (solid based micro extraction) method. Wiley, NIST Tutor and FFNSC libraries were used to identify volatile components.

Totally 36 different components were determined for *Phlomis grandiflora* H. S. Thompson var. *Grandiflora* in pre-flowering (April) period and also flowering period (June) and cis-Ocimene (9,89%; 10,84%),  $\alpha$ -Cedrene (33,10%; 38,06%) and  $\alpha$ -Cubebene (12,08%; 13,82%) were found as main components. For *Phlomis leucophracta* P. H. Davis & Hub.-Mor., 38 different components in pre-flowering period (April) and 33 in flowering period (June) and also  $\alpha$ -Pinene (10,89%; 11,59%), Limonene (22,48%; 27,86%) and Caryophyllene (25,11%; 26,55%) were determined as main components. Both *Phlomis* taxa showed an increase in the proportion of the main components during the flowering period. It is thought that awareness will be provided to prevent economic losses due to wrong collection of plants.

**Keywords:** *Phlomis grandiflora* H. S. Thompson var. *grandiflora*, *Phlomis leucophracta* P. H. Davis & Hub.-Mor.,  $\alpha$ -Cedrene, Limonene, Akseki (Antalya), flowering period.

## 1. Giriş

İnsanların bitkilerle olan ilişkisi ilk çağlara kadar dayanmaktadır. Arkeolojik bulgulara göre insanlar, besin temini ve hastalıkları tedavi etmek için bitkilerden yararlanmışlardır (Koçyiğit, 2005; Faydaoğlu ve Sürücüoğlu, 2011). Geçmişten günümüze önemi artan tıbbi ve aromatik bitkiler, başta gıda, baharat, ilaç ve tedavi amacıyla yoğun olarak kullanılmaktadır. Tıbbi ve aromatik bitkiler grubunda özellikle uçucu yağ içeriği açısından zengin koku ve tat endüstrileri tarafından; parfüm, gıda katkıları, temizlik ürünleri, kozmetik ve ilaçların tertibinde, aroma-kimyasalların kaynağı olarak ya da doğala özdeş ve yarı sentetik yararlı aroma kimyasallarının sentez başlangıç maddesi olarak yaygın olarak kullanılmaktadır (Weiss, 1997).

Türkiye farklı iklim çeşitliliğine sahip olması nedeniyle, bitki türleri açısından oldukça zengindir. Dünya pazarında, çay bitkileri ve baharat ihracatında söz sahibi ülkelerden birisi olup, ticareti yapılan bitki türleri arasında ilk sırada *Lamiaceae* (*Labiatae*) familyası bulunmaktadır. *Lamiaceae* familyası genellikle otsu ve çalı formunda, tek yıllık veya çok yıllık, gövdesi salgı tüylü, hoş kokulu ve çoğunlukla dört köşeli bir yapıya sahip tıbbi-aromatik bitkilerdir. Yapraklar karşılıklı çapraz dizilişli ve genellikle basittir. İndirgenmiş erkek organa sahip olmalarından dolayı çiçekler genellikle hermafroditlerdir. Bu familyanın karakteristik özelliklerinden birincisi çiçeklerinin iki dudaklı bir yapıya sahip olması ve ikincisi Epiderma üzerindeki salgı tüylerinin 8 hücreli pul şeklinde olmasıdır. Epiderma üzerindeki bu tüylerde uçucu yağ bulundurmaktadırlar (Erdoğan, 2014). *Lamiaceae* familyası; nane, adaçayı, oğulotu, kekik, lavanta, reyhan gibi önemli birçok tıbbi ve aromatik bitki türlerini kapsamaktadır. Geniş alanlarda yayılış gösteren bu bitkilerin, özellikle ılıman ve tropikal bölgelere iyi uyum sağladığı bilinmektedir. Ülkemizde hemen her bölgenin doğal florasında yetişmekle birlikte, Ege ve Akdeniz Bölgesi familyanın endemik türleri açısından önemli bir yere sahiptir (Bağdat, 2006).

*Lamiaceae* familyasının en fazla tür sayısına sahip olan cinslerinden bir tanesi olan *Phlomis* cinsi, ülkemizde doğal olarak yayılış gösteren tıbbi bitkiler arasında önemli bir yere sahiptir. Dünya üzerinde 100 civarında türü bulunan *Phlomis* cinsi Asya, Güney Avrupa ve Kuzey Avrupa genelinde yayılış göstermektedir (Mathiesen vd., 2011; Sarıkaya, 2015). Türlerinin boyları 30 cm ile 2 m arasında değişebilmekte, yapraklarının kenarları tırtıklı olup, karşılıklı olarak dizilmiş, bitki yüzeyini kaplayan tüyler yıldız şeklinde ve çiçekleri mor, pembe, beyaz veya sarı renklidir (Huber-Morath, 1982; Sarıkaya, 2015). *Phlomis* taksonları Türkiye’de halk arasında yaprakları ve çiçekleri iştah açıcı, antialerjik, idrar söktürücü, ishal kesici, gaz giderici, mide rahatsızlıklarına karşı, ağrı kesici, antidiabetik bitki çayı ve tonik olarak kullanılmaktadır (Akyol vd., 2010). Aynı zamanda, solunum yolu hastalıkları ve hemoroit rahatsızlıklarına karşı da halk arasında kullanıldığı bilinmektedir (Harput vd., 2006; Sarıkaya, 2015).

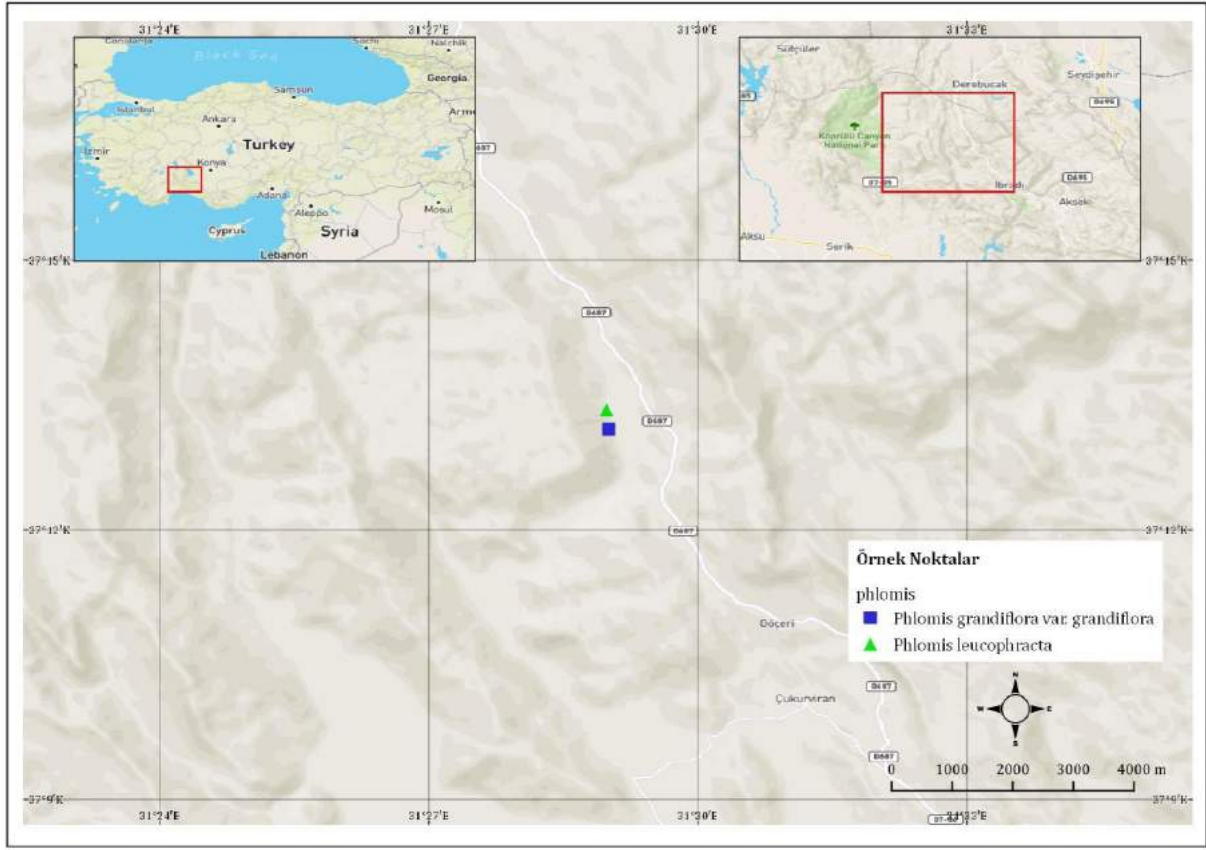
Bu çalışmada Akseki (Antalya) yöresinden *Phlomis grandiflora* H. S. Thompson var. *grandiflora* ve *Phlomis leucophracta* P. H. Davis & Hub.-Mor. bitkilerine ait örnekler çiçeklenme öncesi (Nisan) ve çiçeklenme dönemi (Haziran) olmak üzere 2 farklı dönemde toplanan yaprak ve çiçeklerine ait örneklerin SPME (katı tabanlı mikro ekstraksiyon) yöntemine göre uçucu bileşenlerin yapısı ve miktarlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Çözücüsüz bir analiz tekniği olması nedeniyle çevre dostu olan Katı faz mikro ekstraksiyon (SPME) yöntemi, işlem süresini ve maliyetlerini önemli ölçüde azaltmaktadır (Başer, 2010; Malik vd., 2006; Vas ve Vekey, 2004; Araujo vd., 2007; Dönmez ve Salman, 2017). Bu sebepten dolayı çalışmamızda analiz tekniği olarak tercih edilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

2018-2019 yılı vejetasyon dönemlerinde Akseki (Antalya) Çimi Köyü mevkiinden, 1067 m ve 1128 m rakımdan, N372186138; E3148345631 koordinatlarından *Phlomis grandiflora* H. S. Thompson var. *grandiflora* ve N372222463; E3148300942 koordinatlarından (Şekil 1) *Phlomis leucophracta* P. H. Davis & Hub.-Mor. bitkilerine ait örnekler çiçeklenme öncesi (Nisan) ve çiçeklenme dönemi (Haziran) olmak üzere 2 farklı dönemde doğal yayılış alanlarından toplanmıştır.



Şekil 1. Araştırma alanı ve örnekleme noktaları

## 2.2. Yöntem

Doğal yayılış alanlarından toplanan *Phlomis* taksonları hiç bekletilmeden aynı gün içerisinde laboratuara getirilip, oda sıcaklığında (25°C) gölge ortamda kurutulmuştur. Kurutulmuş *Phlomis grandiflora* H. S. Thompson var. *grandiflora* ve *Phlomis leucophracta* P. H. Davis & Hub.-Mor. bitkilerinden 2 gr alınan yaprak ve çiçek numuneleri katı faz mikro ekstraksiyon tekniği esas alınarak, 10 mL'lik bir vial içine konulmuş ve ağzı silikon bir kapakla kapatıldıktan 30 dakika boyunca 60 °C'de bekletilmiştir. Kullanılan katı faz mikro ekstraksiyon (SPME) cihazı, 75 µm kalınlığında Carboxen/Polidimetilsiloksan (CAR / PDMS) ile kaplanmış bir aparata sahiptir. SPME aparatı, uçucu maddeleri adsorbe etmek için vialin üst boşluğuna geçirilmiş ve daha sonra Restek Rx-5Sil MS kapiler kolon (30 m x 0.25 mm i.d., 0.25 µm film kalınlığı) kullanılan, Shimadzu 2010 Plus GC-MS cihazına doğrudan enjekte edilmiştir. Cihaz, EI modunda (70 eV) çalıştırılan aynı marka kütle seçici dedektöre bağlanmıştır. Taşıyıcı gaz olarak dakikada 1.61 mL akış hızına sahip helyum kullanılmıştır. Enjeksiyon ve dedeksiyon sıcaklıkları 250 °C olarak ayarlanmıştır. Kolon sıcaklığı, 2 dakika boyunca 40 °C'de tutulmuş, daha sonra 4 °C/dakika hızıyla 250 °C'ye yükseltilmiş ve daha sonra 230 °C'de 5 dakika boyunca sabit tutulmuştur. Uçucu bileşenlerin Alıkönme İndisleri (RI), yukarıda belirtilen kromatografik koşullar altında C7-C30 alkan karışımları standardına göre hesaplanmıştır. Bu işlem üç kez tekrar edilerek sonuçların doğruluğu karşılaştırılmış ve sonuçlar ortalama şeklinde verilmiştir. Uçucu bileşenlerin tanımlanmasında Wiley, NIST Tutor ve FFNSC kütüphaneleri kullanılmıştır.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Araştırma Sonuçları

Akseki (Antalya) Çimi Köyü mevkiinden, çiçeklenme öncesi (Nisan) ve çiçeklenme dönemi (Haziran) olmak üzere 2 farklı dönemde doğal yayılış alanlarından toplanan *Phlomis grandiflora* H. S. Thompson var. *grandiflora* ve *Phlomis leucophracta* P. H. Davis & Hub.-Mor. bitkilerine ait örnekler katı faz mikro ekstraksiyon tekniği (SPME) kullanılarak uçucu bileşenler gaz kromatografisi kütle spektroskopisi (GC-MS) yardımı ile tespit edilmiştir. *Phlomis grandiflora* H. S. Thompson var. *grandiflora*'da çiçeklenme öncesi (Nisan) dönemde ve çiçeklenme döneminde (Haziran) 36 farklı bileşen tespit edilmiş ve ana bileşenler cis-Ocimene (9,89%; 10,84%),  $\alpha$ -Cedrene (33,10%; 38,06%) ve  $\alpha$ -Cubebene (12,08%; 13,82%) oranlarıyla belirlenmiştir. *Phlomis leucophracta* P. H. Davis & Hub.-Mor.'da çiçeklenme öncesi (Nisan) dönemde 38 adet ve çiçeklenme döneminde (Haziran) 33 adet farklı bileşen tespit edilmiş ve ana bileşenler  $\alpha$ -Pinene (10,89%; 11,59%), Limonene (22,48%; 27,86%) ve  $\beta$ -Caryophyllene (25,11%; 26,55%) oranlarıyla saptanmıştır. Her iki *Phlomis* türünde de çiçeklenme döneminde ana bileşenlerin oranlarında artış gözlenmiştir. *Phlomis leucophracta* P. H. Davis & Hub.-Mor.'da çiçeklenme öncesi dönemdeki bileşen sayısı çiçeklenme dönemindeki

bileşen sayısından fazla olduğu tespit edilmiştir ve farklı çıkan bileşenler ise çiçeklenme öncesi dönemde  $\alpha$ -Thujene,  $\alpha$ . Terpinene,  $\beta$ -Cubebene,  $\beta$ -Elemene,  $\alpha$ -Gurjunene,  $\alpha$ -Cedrene, Epi-Bicyclosquiphellandrene,  $\delta$ -Guaiene,  $\gamma$ -Gurjunene,  $\alpha$ -Muurolene ve Valencene; çiçeklenme döneminde 3-Methylbutanal, 2-Methylbutanal, Pentanal,  $\delta$ .3-Carene, Germacrene B ve 2,4,6-Octatriene, 2,6-dimethyl-, (E,Z)- 'dir. Uçucu bileşen sınıflarına bakıldığında *Phlomis grandiflora* H. S. Thompson var. *grandiflora*'da seskiterpen hidrokarbonların yüksek oranda olduğu ve *Phlomis leucophracta* P. H. Davis & Hub.-Mor.'da monoteren hidrokarbonların yüksek oranda olduğu bulunmuştur (Tablo 1).

**Tablo 1.** *Phlomis grandiflora* H. S. Thompson var. *grandiflora* ve *Phlomis leucophracta* P. H. Davis & Hub.-Mor. Taksonlarının Farklı Toplama Zamanlarına Ait Uçucu Bileşenleri

	R.Time	Bileşen	P. grandiflora		P. leucophracta		Formül	Sınıf
			Ç.Ö.	Ç.D.	Ç.Ö.	Ç.D.		
1.	2.223	3-Methylbutanal	*	*	*	0,04	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	AAI
2.	2.311	2-Methylbutanal	*	*	*	0,06	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	AAI
3.	2.677	Pentanal	*	*	*	0,39	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	AAI
4.	2.679	2,4-Hexadienal	*	0,17	*	*	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O	AA
5.	4.570	Hexanal	0,17	0,36	0,32	0,81	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	AA
6.	6.047	(E)-2-Hexenal,	0,43	0,56	0,39	0,49	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	AA
7.	7.624	Heptanal	*	*	0,59	1,15	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O	AA
8.	8.454	$\alpha$ -Thujene	0,65	*	1,04	*	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	MH
9.	8.704	$\alpha$ -Pinene	5,14	2,32	<b>10,89</b>	<b>11,59</b>	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	MH
10.	9.746	Benzaldehyde	*	0,21	0,21	0,41	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O	AAI
11.	10.164	$\beta$ -Phellandrene	0,26	*	0,34	0,29	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	MH
12.	10.316	$\beta$ -pinene	0,22	*	*	*	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	MH
13.	10.695	6-Methyl-5-hepten-2-one	0,20	0,24	*	*	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O	AAI
14.	10.863	$\beta$ -Myrcene	0,55	0,25	4,10	3,75	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	MH
15.	11.389	Octanal	*	0,31	0,67	1,34	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	AAI
16.	11.438	Phellandrene	0,84	*	1,36	1,25	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	MH
17.	11.534	$\delta$ .3-Carene	*	0,20	*	0,11	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	MH
18.	11.863	$\alpha$ . Terpinene	*	*	1,65	*	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	MH
19.	12.163	Para-Cymene	0,81	0,50	0,71	0,99	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	MH
20.	12.392	Limonene	3,18	1,90	<b>22,48</b>	<b>27,86</b>	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	MH
21.	12.662	cis-Ocimene	<b>9,89</b>	<b>10,94</b>	0,18	0,17	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	MH
22.	13.064	$\beta$ . Ocimene	0,91	0,89	0,89	0,60	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	MH
23.	13.481	$\gamma$ -Terpinene	*	*	0,54	0,67	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	MH
24.	14.548	$\alpha$ -Terpinolene	0,18	0,19	3,73	3,33	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O	AAI
25.	15.161	Linalool	1,84	1,34	1,47	3,01	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	OM
26.	15.334	Nonanal	0,44	0,77	3,72	4,33	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O	AAI
27.	16.236	2,4,6-Octatriene, 2,6-dimethyl-, (E,Z)-	1,59	1,11	*	0,33	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	MH
28.	19.216	Decanal	*	0,18	0,32	0,42	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O	OM
29.	20.832	Linalyl acetate	*	0,14	*	*	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	FA
30.	24.287	$\alpha$ -Cubebene	0,16	*	*	*	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
31.	25.053	Ylangene	0,79	0,95	*	*	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
32.	25.286	Copaene	0,63	0,56	2,79	0,99	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
33.	25.555	$\beta$ . Bourbonene	2,50	1,73	0,26	0,35	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
34.	25.704	$\beta$ -Cubebene	*	*	0,37	*	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
35.	25.765	$\beta$ -Elemene	*	*	0,15	*	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
36.	26.363	$\alpha$ -Gurjunene	*	*	0,18	*	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
37.	25.705	Zingiberene	*	0,43	*	*	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
38.	26.713	$\alpha$ -Cedrene	<b>33,10</b>	<b>38,06</b>	0,24	*	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
39.	26.831	$\beta$ -Caryophyllene	7,64	7,95	<b>25,11</b>	<b>26,55</b>	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
40.	26.927	$\beta$ -Cedrene	7,40	7,73	*	*	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
41.	27.220	$\alpha$ -Bergamotene	2,60	2,59	*	*	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH



	R. Time	Bileşen	P. grandiflora		P. leucophracta		Formül	Sınıf
			Ç.Ö.	Ç.D.	Ç.Ö.	Ç.D.		
42.	27.878	(E)-β- Farnesene	0,93	0,59	1,49	1,15	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
43.	27.956	.α.-Humulene	0,33	0,16	5,71	3,40	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
44.	28.166	Epi-Bicyclosquiphellandrene	0,65	*	0,13	*	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
45.	28.801	Germacrene-D	0,40	*	5,08	3,00	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
46.	28.675	.β.-Himachalene	*	0,18	*	*	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
47.	28.783	α-Curcumene	*	0,96	*	*	C <sub>15</sub> H <sub>22</sub>	SH
48.	28.787	.α.-Cubebene	<b>12,08</b>	<b>13,82</b>	*	*	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
49.	29.095	.δ.-Guaiene	*	*	0,36	*	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
50.	29.135	Cadina-1(6),4-diene <10betaH->	0,28	*	*	*	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
51.	29.232	Zingiberene	0,88	*	*	*	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
52.	29.252	Bicyclogermacrene	*	0,33	*	*	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
53.	29.268	Germacrene B	*	*	*	0,27	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
54.	29.278	.γ.-Gurjunene	*	*	0,20	*	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
55.	29.365	α-Murolene	0,35	*	0,32	*	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
56.	29.510	Valencene	*	*	0,30	*	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
57.	29.755	α-Patchoulene	0,90	0,87	*	*	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
58.	29.817	.γ.-Cadinene	*	0,27	0,40	0,23	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
59.	29.994	δ-Cadinene	0,81	0,24	0,97	0,49	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
60.	31.975	Caryophyllene oxide	0,27	*	0,34	0,18	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O	OS
<b>TOPLAM</b>			<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>		
<b>Bileşen Sayısı</b>			36	36	38	33		
<b>AA: Aromatik alkol</b>			0,60	1,09	1,30	2,45		
<b>AAI: Aromatik aldehit</b>			0,82	1,72	8,33	9,90		
<b>FA: Yağ asitleri metil esterleri</b>			*	0,14	*	*		
<b>MH: Monoterpen hidrokarbon</b>			24,04	18,11	44,18	47,61		
<b>OM: Oksijenli monoterpen</b>			1,84	1,52	1,79	3,43		
<b>OS: Oksijenli seskiterpen</b>			0,27	*	0,34	0,18		
<b>SH: Seskiterpen hidrokarbon</b>			72,43	77,42	44,06	36,43		

### 3.2. Tartışma

Çalışmamızda, *Phlomis grandiflora* H. S. Thompson var. *grandiflora*'da cis-Ocimene, α-Cedrene ve .α.-Cubebene ana bileşenler olarak belirlenmiştir. Sarıkaya ve Fakir (2016) *Phlomis grandiflora* H. S. Thompson var. *grandiflora*'da .α.-Pinene, α-Cedrene ve α-Curcumene'yi ana bileşenler olarak tespit etmişlerdir. α-Cedrene bileşeni her iki çalışmada da ana bileşen olarak belirlenmiştir. Özcan vd. (2011) *Phlomis grandiflora* H. S. Thompson var. *grandiflora*'da yapmış oldukları araştırmada β-Curcumene, β-Eudesmol ve (E)-β-Farnesene'yi ana bileşenler olarak tespit etmişlerdir. Elde ettikleri sonuç çalışmamızdaki sonuçlardan farklılık göstermektedir. Demirci vd. (2008) *Phlomis grandiflora* H. S. Thompson var. *grandiflora*'da α-Curcumene, α-Eudesmol ve β-Eudesmol'u ana bileşenler olarak saptamışlardır. Saptamış oldukları ana bileşenler çalışmamızdaki sonuçlar ile farklıdır. Çelik vd. (2005) yaptıkları çalışmada, β-Caryophyllene, Germacrene-D ve Bicyclogermacrene'ni *Phlomis grandiflora* H. S. Thompson var. *grandiflora*'nın ana bileşenleri olarak bulmuşlardır. Buldukları ana bileşenler çalışmamızda tespit edilen ana bileşenlerden farklıdır (Tablo 2). Çalışmalarda bileşenleri farklı çıkmasının sebebinin lokalitenin, ekolojik şartların, uçucu bileşen tespit etme yöntemlerinin farklı olması düşünülmektedir.

Çalışmamızda, *Phlomis leucophracta* P. H. Davis & Hub.-Mor.'da ana bileşenler .α.-Pinene Limonene ve β-Caryophyllene olarak saptanmıştır. Sarıkaya ve Fakir (2016) ve Çelik vd. (2005) *Phlomis leucophracta* P. H. Davis & Hub.-Mor.'da .α.-Pinene Limonene ve β-Caryophyllene'ni ana bileşenler olarak tespit etmişlerdir. Yapılan araştırmalar, çalışmamızın sonucunu desteklemektedir (Tablo 2).



**Tablo 2.** *Phlomis grandiflora* H. S. Thompson var. *grandiflora* ve *Phlomis leucophracta* P. H. Davis & Hub.-Mor. 'da Yapılan Diğer Çalışmalar ile Çalışmamızın Karşılaştırılması

Bileşen	<i>P. grandiflora</i>					<i>P. leucophracta</i>		
	Çalışmamızda	Sarıkaya ve Fakir, 2016	Özcan vd., 2011	Demirci vd., 2008	Çelik vd., 2005	Çalışmamızda	Sarıkaya ve Fakir, 2016	Çelik vd., 2005
(E)-2-Hexenal,	0,56	0,51	*	*	*	0,49	8,74	*
. $\alpha$ -Pinene	2,32	<b>26,4</b>	0,80	*	2,40	<b>11,59</b>	<b>2,72</b>	<b>19,20</b>
Limonene	1,90	2,62	*	*	2,70	<b>27,86</b>	<b>14,56</b>	<b>11,00</b>
cis-Ocimene	<b>10,94</b>	0,82	*	*	*	*	*	*
$\alpha$ -Cedrene	<b>38,06</b>	<b>28,15</b>	1,94	1,50	*	*	*	*
$\beta$ -Caryophyllene	7,95	6,4	1,07	0,60	<b>22,80</b>	<b>26,55</b>	<b>22,45</b>	<b>20,20</b>
Germacrene-D	*	5,17	*	*	<b>45,40</b>	3,00	8,32	4,50
Bicyclogermacrene	0,33	*	*	*	<b>4,90</b>	*	*	0,80
$\alpha$ -Curcumene	0,96	<b>13,92</b>	1,86	<b>2,80</b>	*	*	*	*
. $\alpha$ -Cubebene	<b>13,82</b>	*	*	*	0,40	*	3,30	0,30
$\beta$ -Curcumene	*	*	<b>5,81</b>	*	*	*	*	*
$\alpha$ -Eudesmol	*	*	*	<b>16,10</b>	*	*	*	*
$\beta$ -Eudesmol	*	*	<b>61,48</b>	<b>42,00</b>	*	*	*	*
(E)- $\beta$ -Farnesene	0,59	*	<b>2,35</b>	*	*	1,15	2,96	1,10
$\alpha$ -zingiberene	*	*	2,18	*	*	*	*	*

#### 4. Sonuç

*Phlomis grandiflora* H. S. Thompson var. *grandiflora*'da çiçeklenme öncesi (Nisan) dönemde ve çiçeklenme döneminde (Haziran) 36 farklı bileşen tespit edilmiş ve ana bileşenler cis-Ocimene (9,89%; 10,84%),  $\alpha$ -Cedrene (33,10%; 38,06%) ve . $\alpha$ -Cubebene (12,08%; 13,82%) oranlarıyla belirlenmiştir. *Phlomis leucophracta* P. H. Davis & Hub.-Mor.'da çiçeklenme öncesi (Nisan) dönemde 38 adet ve çiçeklenme döneminde (Haziran) 33 adet farklı bileşen tespit edilmiş ve ana bileşenler . $\alpha$ -Pinene (10,89%; 11,59%), Limonene (22,48%; 27,86%) ve  $\beta$ -Caryophyllene (25,11%; 26,55%) oranlarıyla tespit edilmiştir. Sonuç olarak; araziden yaprak ve çiçek şeklinde farklı vejetasyon dönemlerinde toplanan taksonların uçucu bileşenlerinin kalitesi bakımından en uygun toplama zamanı belirlenmiştir. *Phlomis* taksonlarının çiçeklenme döneminde toplanmasının uçucu bileşen verimi açısından önemli olduğu tespit edilmiştir. Belirlenen bu bilgiler ışığında tüccarların ve yöre halkının bilinçlenmesi, yanlış toplama usullerinden dolayı oluşabilecek ekonomik kayıpların önüne geçilmesi hususunda bilinçlenmenin sağlanacağı düşünülmektedir. *Phlomis* taksonlarının antibakteriyel, antiseptik ve antimikrobiyal, deterrent özelliklerine ait detaylı çalışmalar yapılması önerilmektedir.

#### Kaynakça

- Akyol, A., Kaya, C., Yıldırım, A.N., Uluşan, M.D., (2010). Yenişarbademli (Isparta) Yöresinin Tıbbi ve Aromatik Bitkileri. Isparta İli Değerleri ve Değer Yaratma Potansiyeli Sempozyumu. 26 Nisan-3 Mayıs 2010, ISBN:978-9944-452-40-3, Isparta.
- Araujo, H.C., Lacerda, M.E.G., Lopes, D., Bizzo, H.R., Kaplan, M.A.C., (2007). Studies On The Aroma Of Mate (*Ilex paraquariensis* St.Hil.) Using Headspace SolidPhase Microextraction. Phtochemical Analysis, 18: 469- 474.
- Bağdat, R.B., (2006). Tıbbi ve aromatik bitkilerin kullanım alanları, tıbbi adaçayı (*Salvia officinalis* L.) ve ülkemizde kekik adıyla bilinen türlerin yetiştirme teknikleri. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 15(1-2): 19-28.
- Başer, K.H.C., Demirci, B., Dadandi, M.Y. (2008): Comparative Essential Oil Composition of the Natural Hybrid *Phlomis* x *vuralii* Dadandi (Lamiaceae) and its Parents. – Journal of Essential Oil Research 20: 57–62.
- Çelik, S., Gokturk, R.S., Flamini, G., Cioni, P.L., Morelli, I. (2005): Essential oils of *Phlomis leucophracta*, *Phlomis chimerae* and *Phlomis grandiflora* var. *grandiflora* from Turkey. – Biochem Syst Eco 33: 617-623.
- Demirci, F., Guven, K., Demirci, B., Dadandi, M.Y., Baser, K.H.C. (2008): Antibacterial activity of two *Phlomis* essential oils against food pathogens. – Food Control 19: 1159- 1164.
- Dönmez, İ., E., Salman, H., 2017. Yaban Mersini (*Myrtus communis* L.) Yaprak ve Meyvelerinin Uçucu Bileşenleri. Turkish Journal of Forestry, 18(4): 328-332.
- Erdoğan, A., (2014). Lamiaceae Familyasına Ait Bazı Bitkilerin Uçucu Yağ İçeriklerinin Belirlenmesi, Antimikrobiyal Ve Antimutajenik Aktivitelerinin Araştırılması. Doktora Tezi, Mersin Üniversitesi, Mersin.
- Faydaoğlu E., Sürücüoğlu M. S., (2011). Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi, 11 (1): 52 – 67.
- Harpur, Ü. Ş., Çalış İ., Saraçoğlu, İ., Dönmez, A. A., Nagatsu, A., (2006).“Secondary Metabolites from *Phlomis syriaca* and Their Antioxidant Activities”, Turkish Journal of Biology., 30: 383-390
- Huber-Morath, A., (1982). *Phlomis* L. in Flora of Turkey and East Aegean Islands, Davis, P. H. (Ed.), Edinburg University Press., Vol: 7, Edinburg, 1965-1982, s: 102-126.
- Koçyiğit, M., (2005). Yalova İlinde Etnobotanik Bir Araştırma, Yüksek lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü.

- Malik, A.K., Kaur, V. Verma, N. (2006). A Review on Solid Phase Microextraction-High Performance Liquid Chromatography as a Novel Tool for the Analysis of Toxic Metal Ions. *Talanta*, 68: 842–849.
- Mathiesen, C., Scheen, A. C., Lindqvist, C., (2011). Phylogeny and biogeography of the lamioïd genus *Phlomis* (Lamiaceae). The Board of Trustees of the Royal Botanic Gardens, Kew, Vol: 66: 83-89.
- Özcan, M. M., Chalchat, J.C., Bağci, Y., Dural, H., Figueredo, G., Savran, A., (2011). Chemical Composition Of Essential Oils Of *Phlomis grandiflora* H.S. Thompson var. *grandiflora* Flowers and Leaves of Turkish Origin. *Journal of Food Biochemistry*, 35: 125-132.
- Sarıkaya, A.G., (2015). Göller Yöresi Doğal *Phlomis* L. (Lamiaceae) Taksonlarının Farklı Toplama Zamanlarının ve Bazı Yetiştirme Ortamı Özelliklerinin Uçucu Bileşenleri Üzerine Etkisi. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta
- Sarıkaya, A.G., Fakir, H., (2016). The Effect of Reaping Times on Volatile Components of Natural *Phlomis* L. (Lamiaceae) Taxa in The Lakes District of Turkey. *Applied Ecology And Environmental Research* 14(3): 753-772.
- Vas, G., Vekey, K., (2004). Solid-Phase microextraction: a powerful sample preparation tool prior to mass spectrometric analysis. *J. of Mass Spectrometry*, 39:233- 254.
- Weiss, E.A., (1997). Essential Oil Crops. *The Journal of Agricultural Science*, 129 No:121-123



# İletken İplik Alımında Etkili Kriterler Arasındaki İlişkilerin DEMATEL Yöntemi İle Belirlenmesi

Münire Sibel Çetin<sup>1\*</sup>, Duygu Erdem<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bağımsız Araştırmacı, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1875-3302)  
<sup>2</sup> Selçuk Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, Moda Tasarımı Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8277-3589)

(İlk Geliş Tarihi 17 Temmuz 2019 ve Kabul Tarihi 18 Eylül 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.593034)

**ATIF/REFERENCE:** Çetin, M. S. & Erdem, D. (2019). İletken İplik Alımında Etkili Kriterler Arasındaki İlişkilerin DEMATEL Yöntemi İle Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 152-160.

## Öz

Teknolojik gelişmelerin artışıyla birlikte teknolojik ürünler hayatımızın her saniyesinde ihtiyaç haline gelmiştir. Bu ihtiyaç doğrultusunda teknolojinin tekstil ürünleriyle birleştirilmesi ile giyilebilir teknolojiler ortaya çıkmıştır. Giyilebilir teknolojiler sağladıkları kolaylıklar sayesinde sağlık sektörü, askeri uygulamalar ve eğlence sektörü gibi farklı alanlarda kullanılır hale gelmiştir. Giyilebilir teknoloji kavramından yola çıkılarak geliştirilen bir diğer konsept elektronik tekstiller konseptidir. Elektronik tekstil üretiminde elektronik bileşenlerin tekstil ürünlerine dahil edilmesi ya da tekstil ürünlerinin iletken hale getirilerek bu bileşenlerin doğrudan tekstil formunda üretilmesi üzerinde durulmaktadır. İletken tekstil yapıları elde etmek için iletken iplikler, iletken kumaşlar, iletken kaplamalar ve iletken yapıştırıcılar gibi farklı malzemelerden faydalanılabilir. Bu iletken malzemeler arasında iletken iplikler gerek bir doku ya da yüzey oluşturmak amacıyla gerekse bağlantı yollarında kullanılmak üzere çokça tercih edilen iletken tekstil ürünlerinden biridir. Bu çalışma kapsamında, öncelikli olarak iletken iplik alımında etkili olan kriterler belirlenmiştir. Bu kriterler; metal oranı, iletkenlik, esneklik, biyouyumluluk, mekanik dayanım, yıkanabilirlik, makinede işlenebilirlik ve fiyat kriteridir. Ardından iletken iplik alım işleminde etkili 10 uzmandan, belirlenmiş olan kriterleri, alım işlemindeki önem seviyesine göre puanlaması istenmiştir. Toplanan veriler çok kriterli karar verme yöntemlerinden DEMATEL yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda kriter ağırlıkları öncelik derecesine göre sıralandığında; %17 kriter ağırlığı ile makinede işlenebilirlik sistem içerisindeki en önemli kriter olmuştur. Bu kriteri sırasıyla iletkenlik (%16,86), biyouyumluluk (%13,66), metal oranı (%11,60), mekanik dayanım (%11,54), fiyat (%10,77) ve esneklik (%10,69) kriterleri takip etmektedir. En önemsiz kriter ise %7,8 ağırlığı ile yıkanabilirlik kriteridir. Ağ yapısı incelenerek kriterlerin birbirini etkileme durumlarına bakıldığında; en çok kriteri etkileyen makinede işlenebilirlik kriteri iken bu kriter hiçbir kriterden etkilenmemektedir. Yıkanabilirlik kriterinin hiçbir kriter üzerinde etkisi yokken, tüm kriterlerden etkilendiği sonucuna ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** İletken iplik, DEMATEL, Çok kriterli karar verme yöntemleri.

## Determination of the Relationship Between Effective Criteria in Conductive Yarn Purchase using DEMATEL Method

### Abstract

With the increase of technological developments, technological products have become a necessity in every second of our lives. Because of this need, wearable technologies have emerged by combining technology with textile products. Wearable technologies are used in different fields such as healthcare, military applications and entertainment by means of their convenience. Another concept developed from the term of wearable technology is the concept of electronic textiles. In the production of electronic textiles,

\* Sorumlu Yazar: Bağımsız Araştırmacı, İzmir, Türkiye, ORCID: 0000-0003-1875-3302, [muniresibelcetin@gmail.com](mailto:muniresibelcetin@gmail.com)

electronic components are included in textile products or these components are directly produced in textile forms by making the textile products conductive. Different materials such as conductive yarns, conductive fabrics, conductive coatings and conductive adhesives can be utilized to obtain conductive textile structures. Among these conductive materials, conductive yarns are one of the most preferred conductive textile products, either for the purpose of forming a texture or surface, or for use in connection paths. In this study, the criteria which are effective in the purchase of conductive yarn have been determined firstly. These criteria are; metal ratio, conductivity, flexibility, biocompatibility, mechanical strength, washability, usability in the machine for production and price criteria. Then, it was requested from 10 experts, who purchases conductive yarn in their company, to score the determined criteria according to the importance level in the yarn purchasing process. Collected data were evaluated using DEMATEL method which is one of the multi criteria decision making methods. As a result of the evaluations, when the criteria weights are sorted according to importance level; usability in the machine for production is the most important criterion in the system with 17% criterion weight. This criterion is followed by conductivity (16.86%), biocompatibility (13.66%), metal ratio (11.60%), mechanical strength (11.54%), price (10.77%) and flexibility (10%, 69) criteria, respectively. The least important criterion is the washability criterion with a weight of 7.8%. When the network structure and interplay of criteria are examined, usability in the machine for production criterion is the most influencing criterion whereas this criterion is influenced by no criterion. It was concluded that while the washability criterion had no effect on any criterion, it was affected by all criteria.

**Keywords:** Conductive yarn, DEMATEL, Multi criteria decision making methods.

## 1. Giriş

Ardı ardına gelen ekonomik krizlerde ayakta kalabilmek için tekstil sektörünün katma değeri yüksek ürünlere yönelmesi gerekmiş, özel ihtiyaçlara çözüm sunan ileri bilgi ve beceri gerektiren tekstil ürünlerinin üretimine başlanmıştır. Sanayi devrimi sonrasında teknolojik gelişmelerin hızlı bir biçimde artış göstermesi ve araştırmacıların disiplinler arası çalışmalara yönelmeleri yenilikçi ürünlerin ortaya çıkmasına olanak sağlamaktadır. Disiplinler arası çalışmalar sonucu ortaya çıkan en önemli teknolojik gelişmelerden birisi de giyilebilir teknolojilerdir (Yetmen, 2017).

Giyilebilir teknolojiler sağladıkları kolaylıklar sayesinde sağlık sektörü, askeri uygulamalar ve eğlence sektörü gibi farklı alanlarda kullanılabilir hale gelmiştir (Lukowicz, 2008). Giyilebilir teknoloji kavramından yola çıkılarak geliştirilen bir diğer konsept elektronik tekstiller konseptidir (Wagner ve ark., 2002). Elektronik tekstil üretiminde sensörler, mikroişlemciler gibi elektronik bileşenlerin tekstil ürünlerine dahil edilmesi ya da tekstil ürünlerinin iletken hale getirilerek bu bileşenlerin doğrudan tekstil yapıları formatında üretilmesi üzerinde durulmaktadır. İletken tekstil yapıları elde etmek için iletken iplikler, iletken kumaşlar, iletken kaplamalar ve iletken yapıştırıcılar gibi farklı malzemelerden faydalanılabilir (Castano ve Flatau, 2014).

İletken iplikler gerek bir doku ya da yüzey oluşturmak amacıyla gerekse bağlantı yollarında kullanılmak üzere çokça tercih edilen iletken tekstil ürünlerinden biridir. İletken iplikler kullanılarak yapılan çalışmalar incelendiğinde, iletken ipliklerle ilgili en önemli kriterlerin metal oranı, iletkenlik, esneklik, biyouyumluluk, mekanik dayanım, yıkanabilirlik, makinede işlenebilirlik özellikleri olduğu görülmektedir (Rattfält ve ark., 2007; Stoppa ve Chiolerio, 2014; Linz ve ark., 2005; Linz ve ark., 2006). Bu kriterlere ilave edilmesi gereken bir diğer kriter de fiyat kriteridir.

Günümüz koşullarında seçeneklerin giderek çoğalması, sistemlerin karmaşıklaşması ve beklentilerin artması sebebiyle karar verme süreçleri daha karmaşık ve zor bir hale gelmektedir. Karar verme süreçlerinde tek bir kriterin bulunduğu durumlarda problem kolaylıkla sonuçlandırılabilirken, kriterler çoğaldıkça bu durum zorlaşmaktadır. Bu nedenle, genellikle birbirleriyle çelişen faktörleri analiz etmek ve elde edilen sonuçlara göre en iyi alternatifi seçmek ya da alternatifleri sıralamak, karşılaştırmak veya sınıflamak için çok kriterli karar verme tekniklerinden faydalanılır. Literatürde sıklıkla karşılaşılan çok kriterli karar verme teknikleri; DEMATEL(The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory), AHP (Analytic Hierarchy Process), ANP (Analytic Network Process), VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje), TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), MOORA (Ratios Analysis and Reference Point Approach) ve ELECTRE (Elimination and Choice Translating Reality English)'dir (Özdemir, 2018; Akın, 2017).

Değerlendirmede kullanılacak olan çok kriterli karar verme yöntemi seçimi her bir faktör için gerekli bilgi düzeyine göre farklılık göstermekte ve her bir yöntem birbirinden farklı çözüm mantıklarıyla çalışmaktadır. Bu çalışmada DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory – Karar verme deneme ve değerlendirme laboratuvarı) yöntemi tercih edilmiştir. DEMATEL metodu matris işlemlerine dayanan matematiksel işlemlerin yapıldığı bir ÇKKV (Çok Kriterli Karar Verme) yöntemidir. Bu yöntem sayesinde kriterler arası ilişkiler sayısal olarak belirlenebilmekte, önem ve öncelikleri tespit edilebilmektedir. Ayrıca kriterlerin birbirlerini ne ölçüde etkiledikleri ya da birbirleri üzerinde herhangi bir etkiye sahip olup olmadıkları bu yöntem sayesinde öğrenilebilmektedir. Böylelikle diğer kriterleri yüksek oranda etkileme gücüne sahip olan kriterle ilgili iyileştirmeler yapılarak paralel olarak diğer kriterlerin de iyileştirilebilmesine olanak sağlanabilmektedir (Eroglu, 2014; Özdemir, 2018).

Bu çalışmada, iletken iplik alımında etkili olduğu düşünülen bu kriterler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi için “Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri”nden “DEMATEL” yöntemi kullanılmış ve kriterlere ait öncelik sırası tespit edilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında öncelikli olarak iletken iplik alımında etkili 8 adet kriter belirlenmiştir. Bu kriterler; metal oranı, iletkenlik, esneklik, biyouyumluluk, mekanik dayanım, yıkanabilirlik, makinede işlenebilirlik ve fiyattır.

Ardından sektörde aktif olarak çalışmakta olan ve iletken iplik alım kararında etkili 10 uzmana kriterleri içeren bir form mail yoluyla gönderilerek kriterleri DEMATEL ikili karşılaştırma ölçeğine göre değerlendirmeleri istenmiştir. Uzmanlar tarafından doldurulmuş formlardan elde edilen matrisler DEMATEL yöntemi yardımıyla değerlendirilerek kriterler arasındaki etki derecesi ve kriter ağırlıkları belirlenip kriterlerin önem derecelerine göre sıralanması gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada gerekli hesaplamaların yapılabilmesi için Microsoft® Excel programının 16.16.14 sürümü kullanılmıştır.

### 2.1. DEMATEL Yöntemi

DEMATEL, bir yapısal modeldeki karmaşık faktörler arasındaki nedensellik ilişkisini kuran ve analiz eden kapsamlı bir yöntemdir (Karaoğlu, 2016). 1972 ve 1976 yılları arasında Cenevre Battelle Memorial Enstitüsü, Bilim ve İnsan İlişkileri programı tarafından geliştirilmiştir (Eroğlu, 2014). Bu yöntemde, yapısal bir modelin düzenlenmesi için uzmanların bilgisi kullanılır (Karaoğlu, 2016). DEMATEL yöntemi sayesinde kriter ağırlıkları belirlenebilmekte, bu kriterler önem derecelerine göre sıralanabilmekte ve kriterler arasındaki etki derecesi ölçülebilmektedir.

Kriter ağırlıklarını belirlemek için uygulanacak olan DEMATEL yönteminde basamaklar sırası ile aşağıdaki adımları takip eder:

1. Adım: Problemin Tanımlanması: DEMATEL yönteminin ilk aşaması, problemin tespit edildikten sonra net bir şekilde tanımlanmasıdır (Özdemir, 2018).
2. Adım: Kriterlerin Belirlenmesi: Bu aşamada, ilişkilerin en doğru şekilde incelenmesi ve tespit edilebilmesi için, problemin çözümünde gerekli olan tüm kriterlerin eksiksiz bir şekilde tespit edilmesi gerekmektedir (Özdemir, 2018).
3. Adım: Direkt İlişki Matrisinin Oluşturulması: Kriterler arasındaki ilişkiler, Tablo 1'deki ikili karşılaştırma ölçeği kullanılarak uzman grup tarafından belirlenmektedir. Puanlamalar 0-4 aralığında yapılmaktadır. Verilen puanlar, bir kriterin diğerini hangi ölçüde etkilediğini göstermektedir.

Tablo 1: İkili Karşılaştırma Ölçeği

Sayısal Değer	Tanım
0	Etkisiz
1	Düşük Etki
2	Orta Derecede Etki
3	Yüksek Derecede Etki
4	Çok Yüksek Derecede Etki

Kriterleri değerlendiren uzman sayısı birden fazla ise, puanların aritmetik ortalaması alınır. Ardından elde edilen ortalama değerler matrise yerleştirilir ve köşegen değerleri "0" olan asimetrik bir matris elde edilir. Bu elde ettiğimiz matrise ortalama direkt ilişki matrisi (X) adı verilir.

$$X = [0 \cdots x_{1n} \ x_{21} \ 0 \ x_{2n} \ \vdots \ \vdots \ x_{n1} \ \cdots \ 0]$$

4. Adım: Direkt İlişki Matrisinin Normalizasyonu: Direkt ilişki matrisinin elde edilmesinden sonra eşitlik 1'de görüldüğü gibi her bir satır ve sütun toplamının en büyüğü bulunur.

$$s = \max(\max \sum_{j=1}^n x_{ij}, \sum_{i=1}^n x_{ij}) \quad (1)$$

Ardından matrisin her bir elemanı "s" değerine bölünerek normalleştirilmiş direkt ilişki matrisi (D) oluşturulur.

$$D = \frac{x}{s} \quad (2)$$

5. Adım: Eşitlik 3'te de görüldüğü üzere, D matrisi birim matristen çıkarılır, tersi alınır ve tekrar D matrisi ile çarpılır.

$$F = D + D^2 + D^3 + \cdots + D^H = D(1 - D)^{-1} \quad (3)$$

Böylelikle toplam ilişki matrisi (F) elde edilir.

6. Adım: Kriterler Arası İlişkilerin Tespit Edilmesi: Etkileyen ve etkilenen faktör gruplarının belirlenmesi için, toplam ilişki matrisinin (F) satır (R) ve sütun (C) toplamı bulunur. Elde edilen bu değerler kullanılarak, kriterlere ait önem ve etki durumlarının daha net bir şekilde görülüp incelenmesi için nedensel diyagram oluşturulur.

7. Adım: Ağ Yapısının Oluşturulması: Bu aşamada matrisin eşik değeri belirlendikten sonra ağ yapısı oluşturulur. Eşik değerin üzerindeki kriterler etkileyen olarak belirlenir ve ağ yapısında etki yönü ok ile belirtilir. Oklar, etkileyenden etkilenene doğru oluşur.



Eşik değer uzmanlar tarafından belirlenebilir. Bunun mümkün olmaması durumunda toplam ilişki matrisinin (F) ortalaması alınarak da belirlenebilir.

8. Adım: Kriter ağırlıklarının elde edebilmek için, R+C 'nin karesi ile R-C'nin karesinin toplamı kök içerisine alınır.

$$W_{ia} = \sqrt{(R + C)^2 + (R - C)^2} \quad (4)$$

Ardından her bir ağırlık, ağırlıkların toplamına bölünür.

$$W_i = \frac{W_{ia}}{\sum_{i=1}^n W_{ia}} \quad (5)$$

Böylelikle kriter ağırlıkları bulunmuş olur (Karaoğlan, 2016).

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Bulgular

Çalışma kapsamında uzmanların değerlendirmelerini içeren 10 adet matris elde edilmiştir. Elde edilen bu matrislerdeki puanların aritmetik ortalamaları alınarak Tablo 2'de yer alan ortalama direkt ilişki matrisi (X) elde edilmiştir.

Tablo 2. Ortalama Direkt İlişki Matrisi (X)

	Metal Oranı	İletkenlik	Esneklik	Biyoyumluluk	Mekanik dayanım	Yıkanabilirlik	Makinede işlenebilirlik	Fiyat
Metal Oranı	0	1	1	0,833333	0,5	1,833333	1,833333	1,833333
İletkenlik	4	0	1,5	1,5	0,833333	3	0,5	2,5
Esneklik	1,333333	0,166666	0	0,333333	0,666666	1,166666	0,5	1,166666
Biyoyumluluk	2	0,333333	1,333333	0	0,333333	1,833333	0,333333	3
Mekanik dayanım	0,5	0,5	0,666666	0,5	0	1,333333	0,5	2,166666
Yıkanabilirlik	0,666666	0,166666	0,333333	0,5	0,5	0	0,166666	0,333333
Makinede işlenebilirlik	3,666666	1,333333	1,666666	1,166666	0,666666	3,333333	0	2
Fiyat	1,166666	0,333333	0,333333	0,5	1	1,833333	0,333333	0

Ortalama direkt ilişki matrisinin elde edilmesinden sonra eşitlik 1 kullanılarak her bir satır ve sütun toplamının en büyüğü (s) bulunmuştur. Ardından matrisin her bir elemanı eşitlik 2'de görüldüğü gibi "s" değerine (14,33) bölünerek Tablo 3'teki normalize direkt ilişki matrisi (D) oluşturulmuştur.

Tablo 3. Normalize Direkt İlişki Matrisi (D)

	Metal Oranı	İletkenlik	Esneklik	Biyoyumluluk	Mekanik dayanım	Yıkanabilirlik	Makinede işlenebilirlik	Fiyat
Metal Oranı	0	0,070	0,070	0,058	0,035	0,128	0,012	0,058
İletkenlik	0,279	0	0,105	0,105	0,058	0,209	0,035	0,174
Esneklik	0,093	0,012	0	0,023	0,047	0,081	0,035	0,081
Biyoyumluluk	0,140	0,023	0,093	0	0,023	0,128	0,023	0,209
Mekanik dayanım	0,035	0,035	0,047	0,035	0	0,093	0,035	0,151
Yıkanabilirlik	0,047	0,012	0,023	0,035	0,035	0	0,012	0,023
Makinede işlenebilirlik	0,256	0,093	0,116	0,081	0,047	0,233	0	0,140
Fiyat	0,081	0,023	0,023	0,035	0,070	0,128	0,023	0

Normalize direkt ilişki matrisi kullanılarak eşitlik 3'teki işlemler gerçekleştirilip toplam ilişki matrisi (F) elde edilmiştir.

Tablo 4. Toplam İlişki Matrisi (F)

	Metal Oranı	İletkenlik	Esneklik	Biyoyumluluk	Mekanik dayanım	Yıkanabilirlik	Makinede işlenebilirlik	Fiyat
Metal Oranı	0,077	0,089	0,107	0,091	0,067	0,206	0,029	0,125
İletkenlik	0,399	0,056	0,183	0,171	0,125	0,374	0,067	0,295
Esneklik	0,146	0,035	0,034	0,052	0,073	0,152	0,048	0,131
Biyoyumluluk	0,223	0,057	0,139	0,046	0,072	0,238	0,045	0,276
Mekanik dayanım	0,107	0,058	0,083	0,068	0,035	0,175	0,051	0,205
Yıkanabilirlik	0,077	0,024	0,043	0,050	0,048	0,041	0,019	0,057
Makinede işlenebilirlik	0,389	0,144	0,198	0,154	0,116	0,401	0,035	0,267
Fiyat	0,134	0,045	0,058	0,064	0,094	0,192	0,037	0,057

Ağ yapısının oluşturulması aşamasında, toplam ilişki matrisinin (F) ortalaması alınarak eşik değer (0,12115625) belirlenmiştir. Tablo 5'te Toplam İlişki Matrisinde eşik değerini aşan hücreler koyu renkle gösterilmiştir. Bu sonuçlar yorumlanırken; satır elemanlarının, sütun elemanları üzerinde etkisi olduğu söylenerek ifade edilmiştir.

Tablo 5. Toplam İlişki Matrisinde Eşik Değerini Aşan İlişkiler

	<b>Metal Oranı</b>	<b>İletkenlik</b>	<b>Esneklik</b>	<b>Biyoyumluluk</b>	<b>Mekanik dayanım</b>	<b>Yıkanabilirlik</b>	<b>Makinede işlenebilirlik</b>	<b>Fiyat</b>
<b>Metal Oranı</b>	0,085	0,094	0,114	0,096	0,072	0,219	0,031	0,134
<b>İletkenlik</b>	0,422	0,061	0,195	0,182	0,134	0,399	0,072	0,314
<b>Esneklik</b>	0,155	0,038	0,038	0,056	0,078	0,162	0,050	0,139
<b>Biyoyumluluk</b>	0,237	0,062	0,148	0,051	0,077	0,254	0,049	0,291
<b>Mekanik dayanım</b>	0,116	0,061	0,088	0,072	0,039	0,187	0,054	0,216
<b>Yıkanabilirlik</b>	0,082	0,026	0,045	0,052	0,051	0,045	0,021	0,061
<b>Makinede işlenebilirlik</b>	0,413	0,153	0,211	0,164	0,124	0,428	0,039	0,286
<b>Fiyat</b>	0,143	0,048	0,062	0,068	0,099	0,203	0,039	0,063

Tablo 5'teki sonuçlar, hangi kriterin diğer kriterlerden hangisinin ya da hangilerinin üzerinde etkisinin olduğunu göstermektedir. Her bir kriterin hangi kriterler üzerinde etkisi olduğuna yönelik yorumlar şu şekildedir:

- Metal oranı kriteri yıkanabilirlik ve fiyat kriterleri üzerinde etkilidir.
- İletkenlik kriteri; metal oranı, esneklik, biyoyumluluk, mekanik dayanım, yıkanabilirlik ve fiyat kriterleri üzerinde etkilidir.
- Esneklik kriteri; metal oranı, yıkanabilirlik ve fiyat kriterleri üzerinde etkilidir.
- Biyoyumluluk kriteri; metal oranı, esneklik, yıkanabilirlik ve fiyat kriterleri üzerinde etkilidir.
- Mekanik dayanım kriteri; yıkanabilirlik ve fiyat kriterleri üzerinde etkilidir.
- Yıkanabilirlik kriterinin herhangi bir kriter üzerinde etkisi bulunmamaktadır.
- Makinede işlenebilirlik kriteri; metal oranı, iletkenlik, esneklik, biyoyumluluk, mekanik dayanım, yıkanabilirlik ve fiyat kriterleri üzerinde etkilidir.
- Fiyat kriteri; metal oranı ve yıkanabilirlik kriterleri üzerinde etkilidir.

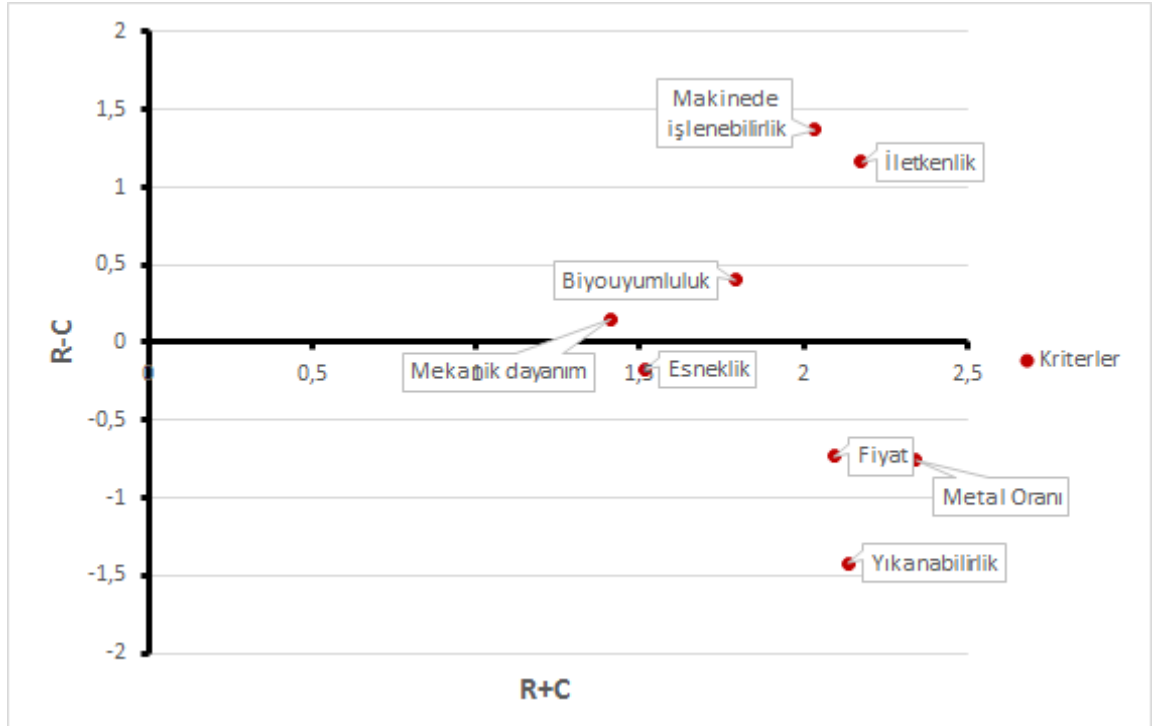
Kriter arası ilişkilerin tespit edilebilmesi amacıyla eşitlik 4 ve 5 kullanılarak Tablo 6'da görülen kriterler arası ilişkiler ve etkiler ile kriter ağırlıkları tespit edilmiştir.

Tablo 6. Kriterlerin Önemleri ve Birbirleri Arasındaki Etki Durumları

	R	C	R+C	R-C	$\sqrt{(R + C)^2 + (R - C)^2}$	Kriter Ağırlıkları (w)	Kriter Öncelikleri
<b>Metal Oranı</b>	0,791	1,552	2,343	-0,761	1,257775815	0,1160802028	<b>4</b>
<b>İletkenlik</b>	1,67	0,508	2,178	1,162	1,827566688	0,1686662355	<b>2</b>
<b>Esneklik</b>	0,671	0,845	1,516	-0,174	1,158447237	0,1069131626	<b>7</b>
<b>Biyouyumluluk</b>	1,096	0,696	1,792	0,400	1,480540442	0,1366391631	<b>3</b>
<b>Mekanik dayanım</b>	0,782	0,630	1,412	0,152	1,250599856	0,1154179332	<b>5</b>
<b>Yıkanabilirlik</b>	0,359	1,779	2,138	-1,420	0,8473488066	0,078201870	<b>8</b>
<b>Makinede işlenebilirlik</b>	1,704	0,331	2,035	1,373	1,846076921	0,170374546	<b>1</b>
<b>Fiyat</b>	0,681	1,413	2,094	-0,732	1,167047557	0,1077068866	<b>6</b>

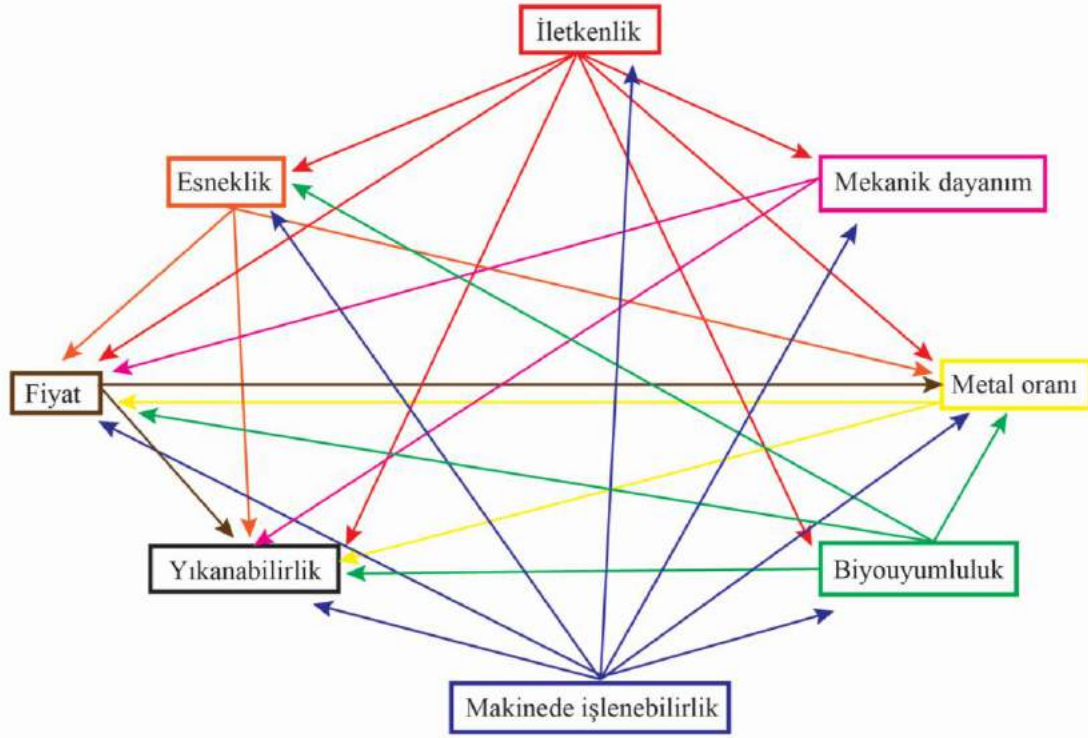
Tablo 6'daki kriter ağırlıkları öncelik derecesine göre sıralanmıştır. Makinede işlenebilirlik sistem içerisindeki en önemli kriter olmuştur. En önemsiz kriter ise %7,8 ağırlığı ile yıkanabilirlik kriteridir sonucuna varılmıştır.

Kriterlere ait önem ve etki durumlarının daha net bir şekilde görülüp incelenebilmesi için Şekil 1'de yer alan iletken iplik alım kriterleri nedensel diyagramı oluşturulmuştur.



Şekil 1. Nedensel Diyagram

Nedensel diyagramda R-C için sıfır çizgisinin altında kalan kriterler; esneklik, metal oranı, yıkanabilirlik ve fiyat diğer kriterler tarafından etkilenen kriterlerdir. Sıfır çizgisinin üstünde kalan değerler olan biyoyumculuk, mekanik dayanım, makinede işlenebilirlik ve iletkenlik ise, diğer kriterleri baskın bir şekilde etkileyen kriterlerdir. R+C ekseninde ise, sıfırdan uzaklaştıkça kriterlerin önemi artmaktadır. Kriterlerin öncelik derecelerindeki önem sıralamaları nedensel diyagram yardımıyla daha görsel hale gelmektedir. Örneğin; nedensel diyagramda R+C ekseninde sıfırdan en uzakta olan kriter yani önem derecesi en düşük olan değer yıkanabilirlik olarak görülmektedir.



Şekil 2. İletken İplik Alım Kriterleri Ağ Yapısı

Şekil 2'deki ağ yapısında da nedensel diyagramda çıkan sonuçlara paralel olarak etkileyen ve etkilenen kriterler görülmektedir. Ağ yapısında okların baktığı yöndeki kriterler etkilenen kriterlerdir. Aynı zamanda okların çıkış noktasında yer alan kriterler de diğer kriterleri etkileyen kriterlerdir.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada iletken iplik alımında etkili kriterler arasındaki ilişkilerin DEMATEL yöntemi ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda iletken iplik alım kararında etkili 10 uzmanın görüşleri DEMATEL yöntemine göre değerlendirilmiştir.

Kriter ağırlıkları öncelik derecesine göre sıralandığında; %17 kriter ağırlığı ile makinede işlenebilirlik sistem içerisindeki en önemli kriter olmuştur. Bu kriteri sırasıyla iletkenlik (%16,86), biyouyumluluk (%13,66), metal oranı (%11,60), mekanik dayanım (%11,54), fiyat (%10,77) ve esneklik (%10,69) kriterleri takip etmektedir. En önemsiz kriter ise %7,8 ağırlığı ile yıkanabilirlik kriteridir.

Ağ yapısı incelenerek kriterlerin birbirini etkileme durumlarına bakıldığında; makinede işlenebilirlik kriterinin en çok kriteri etkilediği görülürken bu kriter hiçbir kriterden etkilenmemektedir. Yıkanabilirlik kriterinin hiçbir kriter üzerinde etkisi yokken, tüm kriterlerden etkilendiği sonucuna ulaşılmıştır. İletken iplik kullanarak üretim yapan işletmelerin önceliği iplik ile istedikleri formda yapılar üretebilmek olduğu için makinede işlenebilirlik kriteri beklendiği gibi en önemli kriter olarak tespit edilmiştir. Yıkanabilirlik kriteri ise aslında elektronik tekstil ürünleri için önemli bir kriter olmasına rağmen, ürün henüz ticarileşme aşamasında olması ve tüketici ile buluşmaması sebebiyle şimdilik üreticiler tarafından göz ardı edilmektedir.

Bu sonuçlardan yola çıkılarak, iletken iplik üreticilerinin müşterilerinin beklentilerini ve önceliklerini anlamaları sağlanabilir. Bu çalışma, iletken iplik üreticilerinin piyasayı analiz ederek daha efektif bir ürün yelpazesi sunmalarında yol gösterici olacaktır.

#### Kaynakça

1. Yetmen, G. (2017). Giyilebilir Teknoloji. Ulakbilge, 5 (9), 275-289.
2. Lukowicz, P. (2008). Wearable computing and artificial intelligence for healthcare applications. Artificial Intelligence in Medicine, 42, 95-98.
3. Wagner, S., Bonderover, E., Jordan, W. B. ve Sturm, J. C. (2002). Electrotexiles: concepts and challenges. International Journal of High Speed Electronics and Systems, 12 (02), 391-399.
4. Castano, L. M. ve Flatau, A. B. (2014). Smart fabric sensors and e-textile technologies: a review. Smart Materials and Structures, 23 (5), 053001.
5. Rattfält, L., Lindén, M., Hult, P., Berglin, L., & Ask, P. (2007). Electrical characteristics of conductive yarns and textile electrodes for medical applications. Medical & Biological Engineering & Computing, 45(12), 1251-1257.



6. Stoppa, M., & Chiolerio, A. (2014). Wearable electronics and smart textiles: a critical review. *Sensors*, 14(7), 11957-11992.
7. Linz, T., Kallmayer, C., Aschenbrenner, R., & Reichl, H. (2005, October). Embroidering electrical interconnects with conductive yarn for the integration of flexible electronic modules into fabric. In *Wearable Computers, 2005. Proceedings. Ninth IEEE International Symposium on* (pp. 86-89). IEEE.
8. Linz, T., Kallmayer, C., Aschenbrenner, R., & Reichl, H. (2006, April). Fully integrated EKG shirt based on embroidered electrical interconnections with conductive yarn and miniaturized flexible electronics. In *Wearable and Implantable Body Sensor Networks, 2006. BSN 2006. International Workshop on* (pp. 4-pp). IEEE.
9. Akın, N. G. (2017). İşletme Bölümü Öğrencilerinin Meslek Seçimini Etkileyen Faktörlerin Bulanık Dematel Yöntemi ile Değerlendirilmesi. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 13(4), 873-890.
10. Eroğlu, Ö. (2014). Bakım/Onarım Alternatiflerinin Bulanık Dematel ve SMAA-2 Yöntemleriyle Değerlendirilmesi. *Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*. Ankara.
11. Karaoğlu, S. (2016). Dematel ve Vikor Yöntemleriyle Dış Kaynak Seçimi: Otel İşletmesi Örneği. *Akademik Bakış Uluslararası Hakemli Sosyal Bilimler Dergisi*, (55), 9-24.
12. Özdemir, M. (Ed.) (2018). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri-Açıklamalı ve Karşılaştırmalı Sağlık Bilimleri Uygulamaları ile. Ankara: Nobel.



# Çok Katlı Yapılarda Betonarme Döşeme Sistemleri / İstanbul Örneği

Uğur Özcan<sup>1\*</sup>, Gökhan Duran<sup>2</sup>, İbrahim Erol<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0002-4478)

<sup>2</sup> Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimarlık Anabilimdalı, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5042-8492)

<sup>3</sup> Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimarlık Anabilimdalı, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3092-7128)

(İlk Geliş Tarihi 10 Eylül 2019 ve Kabul Tarihi 14 Ekim 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.618084)

**ATIF/REFERENCE:** Özcan, U., Duran, G. & Erol, İ. (2019). Çok Katlı Yapılarda Betonarme Döşeme Sistemleri / İstanbul Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 161-175.

## Öz

Bireylerin çeşitli fonksiyonel davranışlarını mekânsal olarak karşılayan şehirlerin, arazi değerleri yüksektir. Arazinin verimli kullanımına katkı sağlayan çok katlı yapılar, bina izdüşümünün azaltılarak daha fazla yeşil alan kazanılabilmesine imkan sağlamaktadır. Günümüzde oldukça yaygınlaşan karma yapı kullanımları, çok katlı yapılar sayesinde daha avantajlı hale gelebilmektedir. Çok katlı yapıların prestij unsuru olarak görülmesi ile konut ve ticari alan ortak kullanımı adeta altın çağını yaşamaktadır. Bu durumun gelişmesinde destekleyici unsur olan fonksiyonel ihtiyaçlar, aslında yapım yöntemlerindeki gelişmeler sayesinde gerçekleşebilmiştir. Yüksek yapıların inşa edilebilmesinde, betonun işlevselliğinin ve mukavemetinin artırılması, kalıp sistemlerinin geliştirilmesi ve diğer teknolojik gelişmeler önemli rol oynamaktadır. Çok katlı yapılar, taşıyıcı sistemler ve döşeme sistemleri ile diğer yapılardan ayrılmaktadır. Bu noktada, çerçeve sistemler, çekirdek sistemler, kirişsiz döşemeli sistemler, perde duvarlı sistemler, kafes duvarlı çerçeve ve perde duvarlı çerçeve sistemler, mega kolon ve mega çekirdek sistemler, yatay perdeli çerçeve sistemler, tüp sistemler ve karma sistemler çok katlı yapılarda kullanılan taşıyıcı sistemler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sistemler, kirişli, kirişsiz, nervürlü, kaset, ön germeli veya ard germeli döşeme sistemleri ile entegre edilerek yapılarda ihtiyaç duyulan alanların sağlıklı bir biçimde oluşturulabilmesine imkan sağlamaktadır. İstanbul'da yer alan yirmi beş adet çok katlı yapı seçilerek, bu yapıların taşıyıcı sistemleri karşılaştırılmıştır. Taşıyıcı sistemleri ve betonarme döşeme sistemleri incelenen bu örnekler, gelecekte yapılması planlanan çok katlı yapılar için bir kaynak oluşturabilecektir. Buna göre, İstanbul'da araştırma için belirlenmiş olan yirmi beş adet çok katlı yapının birçoğunda taşıyıcı sistem olarak çekirdek ve çerçeve tüp / kolon sistemlerin kullanıldığı görülmüştür. Söz konusu yapıların döşeme sistemleri incelendiğinde ise kaset ve iki doğrultuda çalışan kirişli döşeme sistemlerinin ağırlıklı kullanıldığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Yapı, Çok Katlı Yapı, Taşıyıcı Sistem, Betonarme, Betonarme Döşeme.

## Concrete Flooring Systems in Multi-Storey Structures / Istanbul Example

### Abstract

The cities, which meet various functional behaviors of individuals spatially, have high land values. Multi-storey buildings that contribute to the efficient use of the land allow for more green space by reducing building footprint. Today, the use of mixed structures, which are quite common, can become more advantageous thanks to the multi-storey structures. The common use of residential and commercial spaces is almost living its golden age after The multi-storey buildings are seen as prestige element. Functional needs, which support the development of this situation, have in fact been realized thanks to improvements in construction methods. Increasing the functionality and strength of concrete, development of formwork systems and other technological developments play an important role in the construction of high structures. Multi-storey buildings are separated from other structures by their load bearing structural systems and flooring systems. At this point, frame systems, core systems, beamless flooring systems, curtain wall systems, lattice wall frame and curtain wall frame systems, mega column and mega core systems, horizontal curtain frame systems, tube systems and mixed systems are seen as load bearing structural systems used in multi-storey structures. These systems can be integrated with beamed, beamless, ribbed, cassette, pre-tensioned or post-tensioned flooring systems, enabling the areas required in the structures to be formed in a healthy way. Twenty-five multi-storey buildings in Istanbul were selected and their

\* Sorumlu Yazar: Fatih Sultan Mehmet Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0002-4478), uozcan@fsm.edu.tr

structural systems compared. These samples whose structural systems and reinforced concrete flooring systems will be examined will be a source for multi-storey buildings in the future. Accordingly, core and frame tube / column systems were used in most of the twenty-five multi-storey buildings identified for research in Istanbul. When the flooring systems of these structures are examined, it is seen that beamed flooring systems which are working in two directions and cassette flooring systems are used predominantly.

**Keywords:** Building, Multi-Storey Building, Structural System, Reinforced Concrete, Reinforced Concrete Flooring.

## 1. Giriş

Amerika Birleşik Devletleri'nde 1870'lerde, büyüyen iş hacimleri ve şehir merkezlerindeki nitelikli alanların azalması gibi nedenlerle, ofis binalarının kat sayıları artmaya başlamıştır. Bununla birlikte, yine aynı dönemde çok katlı binaların sembolik ve prestij değeri gündeme gelmiştir. Yapı malzemelerinde, yapım tekniklerinde, taşıyıcı sistemlerde ve düşey sirkülasyon elemanlarında ortaya çıkan gelişmelerin katkısı ile, on katı geçen binalar yapılmaya başlanmıştır. Söz konusu dönemde çevresindeki diğer binalara göre oldukça yüksek olan bu tip binalara İngilizcede "Skyscraper" (Gökkazıyan) adı verilmiştir. Diğer dillerdeki karşılıkları ise Almanca'da "Wolkenkratzer" (Bulutkaşıyan), Fransızca'da "Gratte - Ciel" (Gökkazıyan) olmuştur. Günümüzde ise bunların yerine, İngilizcede "Tall Building" ve Almancada "Hochhaus" kelimeleri kullanılmaktadır. Bunların Türkçe karşılığı olarak ise, "Çok Katlı Yapı" terimi tercih edilmiştir.

Çok katlı binalar için, yükseklik kavramının göreceli olmasından dolayı, belirli bir yükseklik / kat tanımlaması yoktur. Bununla birlikte, söz konusu binaların çok katlı sayılabilmesi için bazı ülkeler yükseklik/kat sınırı getirmiştir. Örneğin; Amerika'da on iki kat ve üzeri yapılar, Almanya'da ise giriş dahil olmak üzere yirmi iki metreyi aşan yapılar çok katlı bina statüsünü kazanmaktadır.

Sanayi devrimiyle birlikte dünya dengesi değişmiş zirai çalışma alanları, cazibesini sanayileşmeye kaptırmıştır. Bu gelişmeler öncülüğünde, kırsaldan şehre göç başlamıştır. Bu göç beraberinde hızlı, orantısız bir şekilde şehirleşmenin artmasını ve bunun beraberinde barınacak alan ihtiyacını arttırmıştır. Arazi, fiyat-kullanım oranı ve arz-talep dengeleri bakımından ulaşılabilir olmaktan çıkmış bu durum yatay mimari yerine dikey mimari ihtiyacını doğurmuştur.

1800'lerden itibaren artan imkânlar ve gelişen teknolojiler, bireyler üzerinde farklı ihtiyaçlar ve istekler doğurmuştur. Bu gelişmeler bireylerin temel ihtiyaçlarından olan yaşama ve çalışma alanlarını tasarlarken de etkili olmuştur. Çok katlı yapı tasarımı böylelikle tarih sahnesinde yerini almaya başlamıştır. Çok katlı binalar başlarda çalışma ve ofis alanı olarak kullanılırken daha sonraları konut ve karma yapı projeleri olarak ihtiyaçlara cevap vermeye başlamıştır.

Şehir nüfuslarındaki hızlı artış beraberinde yoğun bir yapılaşmayı da getirmiştir. Çok katlı yapıların tercih edilmesindeki diğer bir sebep ise, artan bina yoğunluğu içerisinde yeşil alanların kısıtlanması ve azalmasıdır. Yapılaşma dikey doğrultuda olduğu için bireylerin kapalı alan ihtiyaçları, daha küçük bina taban alanları ile karşılanarak, daha fazla yeşil alan oluşturulabilmesine imkân tanımaktadır.

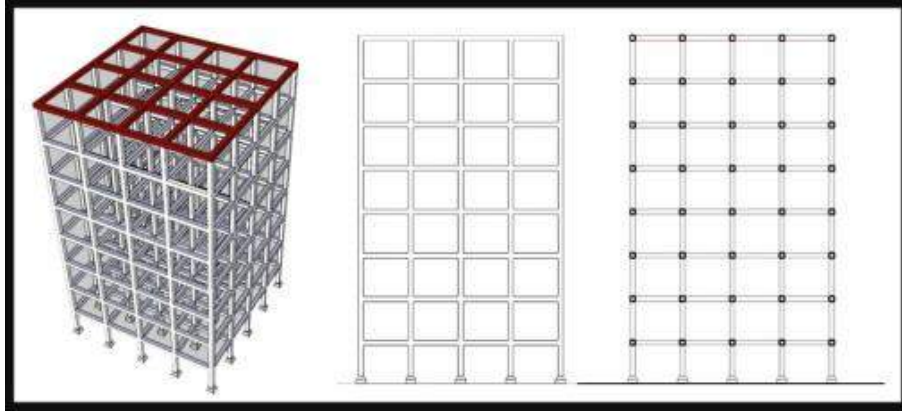
Teknolojik gelişmelerle birlikte yeni yapım teknikleri ortaya çıkmıştır. Bu yenilikler çok katlı yapıların inşa edilmesine olanak sağlamıştır. Gelişen yeni yapı iskeletleri sayesinde daha az duvara sahip, daha verimli kullanım alanları üretilmiştir. Yeni teknikler çelik betonun bir arada daha etkin kullanılmasına olanak tanımıştır. Bireylerin dikey yönde hareketini kolaylaştıran asansörün icadıyla üst katlara ulaşım, daha hızlı ve rahat bir şekilde sağlanmıştır.

1960'lı yıllarda beton kalitesinin iyileştirilmesi, yatay ve düşey olarak büyük açıklıklara beton pompalayan pompaların faaliyete geçmesi, hafif betonun geliştirilmesi, çeşitli katkı maddeleriyle betonun işlenebilirliğinin yükseltilmesi, kendi kendine tırmanan kalıpların kullanılmaya başlanması ve prefabrikasyonun geliştirilmesi, çok katlı yapı üretimi teknolojisini bugünkü düzeye getirmiştir. Bununla birlikte, araştırma teknikleri ve temel sistemlerindeki gelişmeler, çok katlı bina yapımındaki zorlukların aşılabilesine imkân vermiş, yapıların düşeyde yükselebilesine olanak tanımıştır. (Yünüak, 1996).

## 2. Çok Katlı Yapılarda Kullanılan Taşıyıcı Sistemler

### 2.1. Çerçeve Sistemler

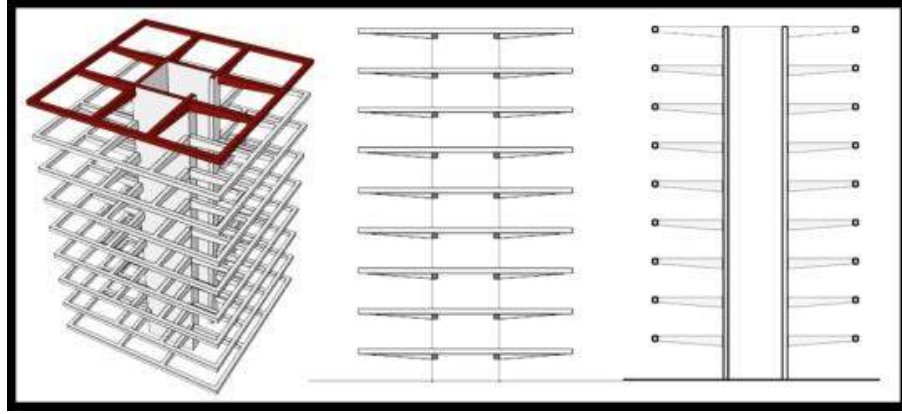
Çerçeve sistemler, üç temel başlık altında incelenebilir. Bunlar, takviyeli çerçeve, rijit çerçeve, çerçeve ve kafes kiriş birleşimi sistemlerdir. Çerçeve sistemler, 20. Yüzyılın başlarından itibaren çok katlı yapılarda taşıyıcı sistem olarak görülmeye başlanmıştır. Takviyeli çerçeve sistemler, çok katlı yapılarda, yanal yüklerin ve taşıyıcı elemanlardaki zorlanmaların kabul edilebilir sınırlarda tutulabilmesi için tercih edilmektedir. Burada amaç, betonarme veya kafes kiriş türü elemanlar kullanılarak taşıyıcı sistemin tümünün stabilitesinin sağlanabilmesidir. Rijit Çerçeve Sistemlerde, yatay ve düşey elemanlar tam rijit olacak şekilde birbirilerine bağlanırlar. Bu bağlantıların yapıldığı düğüm noktaları, kolon ve kirişlerin aralarında oluşturdukları açının zorlanarak değişmesini önleyebilmek ve çerçeve elemanlarının üzerinde oluşan yatay yük zorlamalarını karşılayabilmek için kullanılmaktadır. Çerçeve ve kafes kiriş birleşimi sistemler, çerçeve sisteminin ve kafes kiriş sisteminin bir bileşenidir. Çerçeve sistemin düşey yükler karşısında ve kafes kiriş sisteminin yanal yükler karşısında taşıdıkları avantajlar, bir araya getirilmek istenmiştir. Böylece, inşa edilecek yapının üst katlarında çerçeve, alt katlarında ise kafes kiriş sistemi kullanılması prensibi ile sistem oluşturulmaktadır.



Resim 1: Çerçeve Sistemler Perspektif, Görünüş ve Kesiti

## 2.2. Çekirdek Sistemler

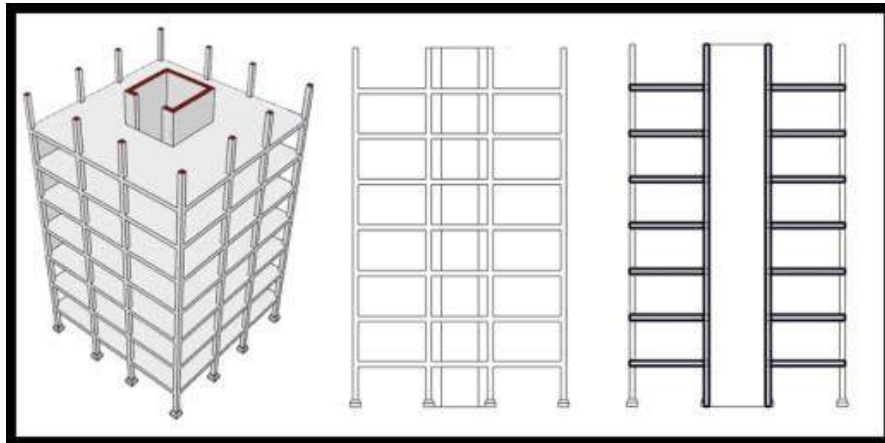
Çekirdek sistemler, perdelerin birleşmesiyle meydana gelen dikey taşıyıcılardır. Yatay ve dikey doğrultuda rijitleşmiş perde gibi davranırlar. Çalışma sistemi yelkenli gemilerin ana direklerinin çalışma şekline benzer. Bu sistem kullanılarak, geminin yelkenlerine gelen rüzgâr kuvvetlerinin bütününün ana direğe gitmesi önlenmiştir. Böylece, daha uzun ve küçük çaplı ana direğin yelkenler vasıtasıyla gelen yükleri taşıması sağlanmıştır (Sağlam, 2016). Çekirdek perde duvar genellikle açık çekirdek olup kat kirişi ve döşemesiyle kısmi kapalı çekirdek haline gelir. Yanal yüklemeye altında, yapıdaki muhtemel burulmaya karşı ideal olan kapalı çekirdek davranışına, kısmi kapalı çekirdekle yaklaşılmaya çalışılır (Günel ve Ilgın, 2010).



Şekil 2: Çekirdek Sistemler Perspektif, Görünüş ve Kesiti

## 2.3. Kirişsiz Döşemeli Sistemler

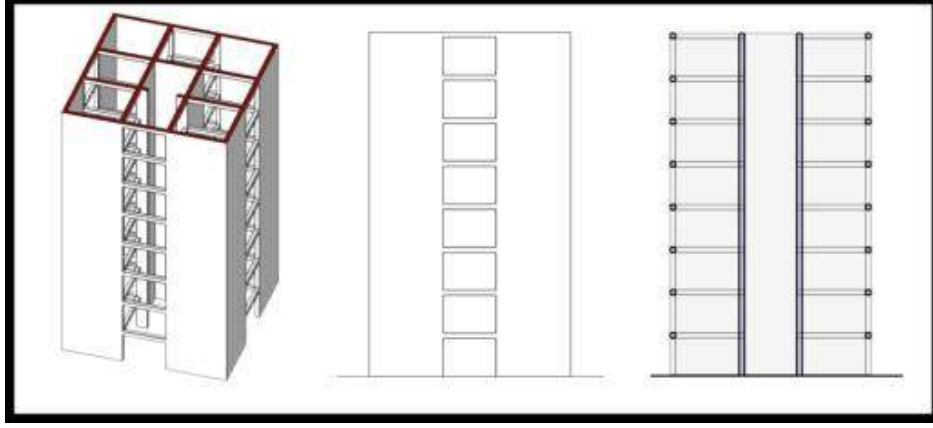
Kirişsiz döşemeli sistemlerde amaç, katlarda maksimum iç yükseklik ve kirişsiz düz bir tavan elde edebilmektir. Ancak, döşemenin kolonlar ile birleştiği noktada oluşan kesme kuvvetinin zımbalama etkisini ortadan kaldırmak için kolon başlıkları kullanılabilir. Kirişsiz döşeme sistemleri, yanal yükler karşısında her zaman yeterli rijitliği sağlayamayabilir. Bu nedenle, perde duvar sistemleri ile gerekli desteklemeler sağlanabilmektedir.



Şekil 3: Kirişsiz Döşemeli Sistemler Perspektif, Görünüş ve Kesiti

## 2.4. Perde Duvarlı Sistemler

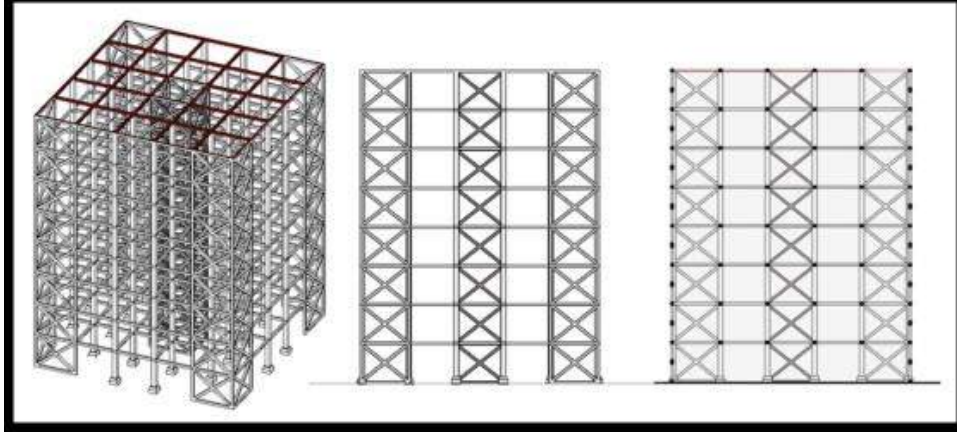
Perde duvarlı sistemler, çok katlı binalarda kullanılan perde duvarlar, temelden itibaren düşey bir konsol gibi tanımlanabilir. Tanımlanabilecek bu konsolun üzerinde bulunan katlar arasındaki yanal öteleme, yapının üst katlarına çıkıldıkça artış eğilimi göstermektedir. Dolayısıyla, bu sistemde yanal yüklerden oluşacak moment, kesme kuvvetleri ve bunların sebep olabileceği yanal ötelemeler dikkatle izlenmelidir. Çok katlı binaların ofis olarak kullanılması durumunda, sirkülasyon ve servis alanlarının çevresi yeterli büyüklükte perdeler ile kapatılabilmekte ve istenilen ölçüde çekirdekler oluşturulabilmektedir. Yapının konut olarak tasarlanması durumunda ise, söz konusu alanlar daha küçük olarak oluşturulabilmektedir.



Şekil 4: Perde Duvarlı Sistemler Perspektif, Görünüş ve Kesiti

## 2.5. Kafes Perdeli Çerçeve ve Perde Duvarlı Çerçeve Sistemler

Otuz katın üzerindeki çok katlı binalarda, kolonlar üzerinde meydana gelen eğilme, büyük deformasyonlara sebep olabilir. Bu durum, rijit çerçeve sistemler açısından değerlendirildiğinde, sistem yanal yükler karşısında yeterli performansı gösteremez. Kafes perdeli çerçeve ve perde duvarlı çerçeve sistemler ile rijit çerçeve sistem güçlendirilir ve bu sayede yapının toplam rijitliği artırılmış olur.

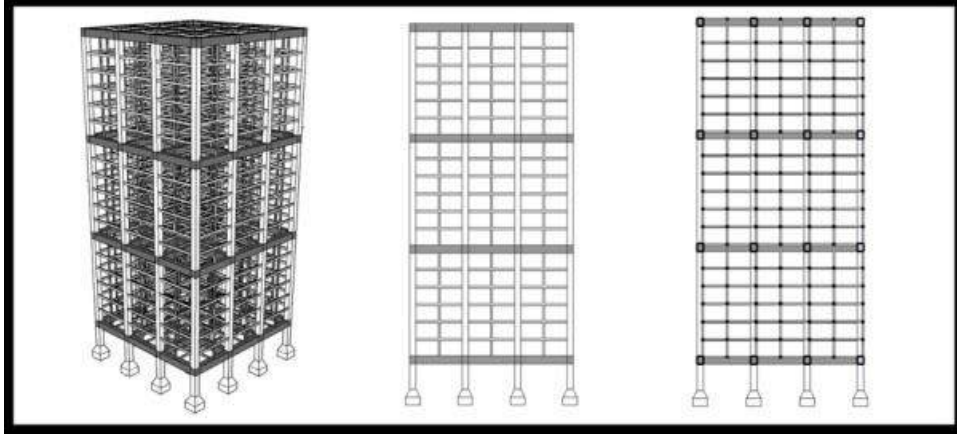


Şekil 5: Kafes Perdeli Çerçeve Sistemler Perspektif, Görünüş ve Kesiti

## 2.6. Mega Kolon ve Mega Çekirdek Sistemler

Mega kolon sistemler, yüzey kesit alanları çok büyük olan, düşey ve yanal yüklerin tamamını taşıyan mega kolonların olduğu sistemlerdir. Mega çekirdek sistemler ise, kesit yüzey alanları normalden çok büyük olan düşey ve yanal yüklerin tamamını taşıyan, perde duvarların oluşturduğu, mega çekirdeklerden oluşmaktadır.

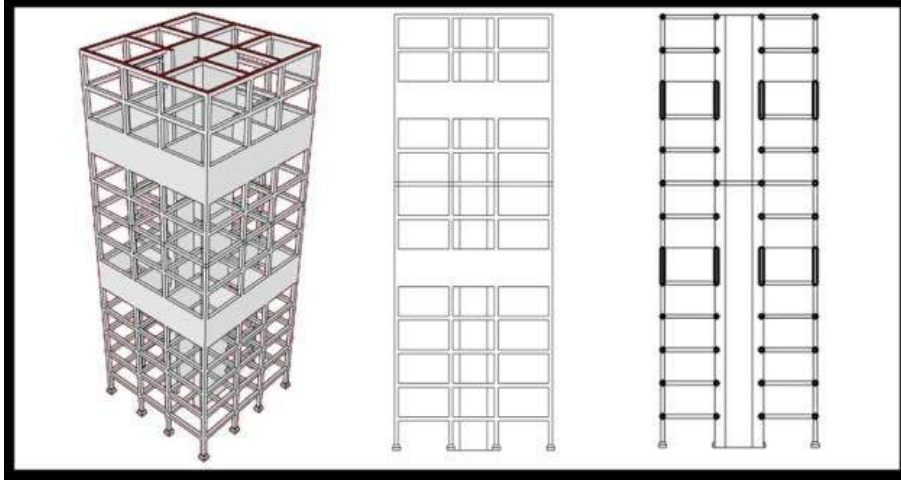




Şekil 6: Mega Kolon Sistemler Perspektif, Görünüş ve Kesiti

## 2.7. Yatay Perdeli Çerçeve Sistemler

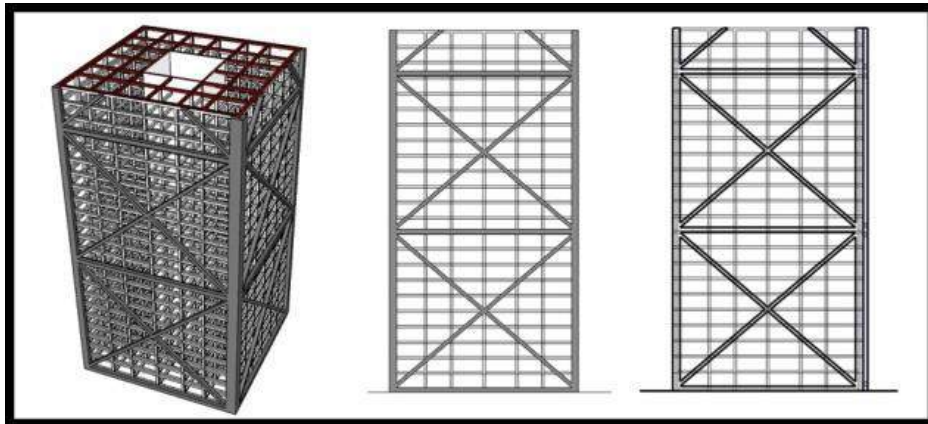
Yatay perdeli çerçeve sistemler, yapıya ait kolonların ve çekirdeğin yatayda uzanan perdeler kullanılarak birbirine bağlandığı, bu sayede çekirdeğin yanal kuvvetler altında kolonlardan destek almasının sağlandığı ve yapının yanal ötelenmesinin azaltılarak sistemin rijitliğinin artırılmak istendiği sistemlerdir.



Şekil 7: Yatay Perdeli Çerçeve Sistemler Perspektif, Görünüş ve Kesiti

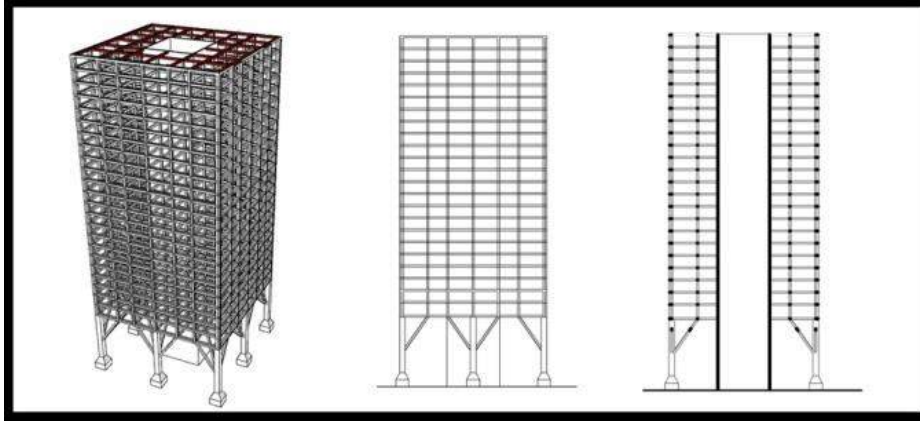
## 2.8. Tüp Sistemler

Tüp sistemler; çerçeve tüp sistemler, kafes tüp sistemler ve demet tüp sistemler olarak üç temel başlık altında değerlendirilebilir. Çerçeve tüp sistemler, rijit çerçeve sistemlere benzerlik göstermektedir. Bu sistemler, kolon sayısının artırılarak kolon aralığının azaltıldığı, buna bağlı olarak kiriş yüksekliklerinin artırıldığı ve kolonların birbirilerine derin kirişlerle bağlandığı rijitliği artırılmış sistemlerdir.



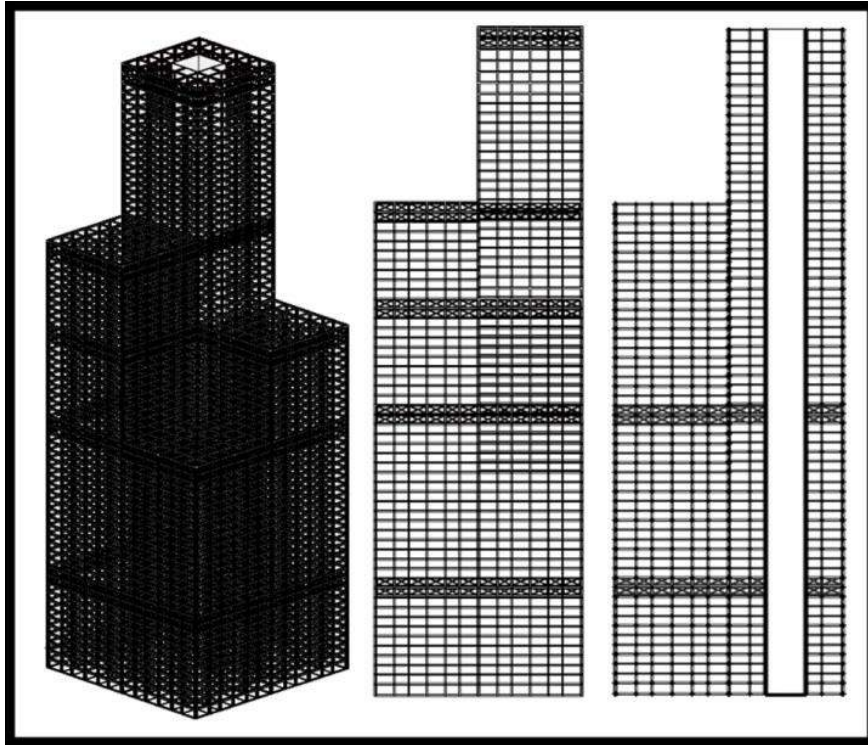
Şekil 8: Kafes Tüp Sistemler Perspektif, Görünüş ve Kesiti

Çerçeve tüp sistemde kullanılan kolonların aralıklarının sık olması, özellikle zemin katlarda istenilen mimari nitelikleri taşıyan mekânların oluşturulmasında problemler doğurabilmektedir. Amaçlanan rijitlik azaltılmadan, kolon aralıklarının arttırılabilmesi için, çerçeve tüp sistem olarak tasarlanan yapının dış yüzeyinde çapraz destekleyici elemanların yerleştirilmesi sayesinde kafes tüp sistemler oluşturulmuştur.



Şekil 9: Çerçeve Tüp Sistemler Perspektif, Görünüş ve Kesiti

Demet tüp sistemler, kafes tüp sistemlere oranla çok daha fazla kolon açıklığına ihtiyaç duyulduğu ve mimari tasarıma özgürlük sağlaması açısından çerçeve tüp ve kafes tüp sistemlerinin birlikte kullanıldığı bir sistem yapısına sahiptir. Bu sistemler, söz konusu tüp sisteminin istenilen kat/yükseklikte başlanabilmesi veya sonlandırılabilmesi sayesinde, kat planlarında ve hacimlerinde, mimarlara özgün tasarımlar yapabileme olanağı sağlayabilen sistemlerdir.



Şekil 10: Demet Tüp Sistemler Perspektif, Görünüş ve Kesiti

## 2.9. Karma Sistemler

Yapı analizleri için kullanılan bilgisayar sistemlerindeki gelişmeler, mühendislerin yapının projesinin tasarımı sırasında çok sayıda farklı modeli hızlı bir şekilde ve alternatifli olarak inceleyebilmesine imkân vermektedir. Bu durum, çelik ve beton gibi çok katlı bina yapımında kullanılan iki önemli malzemenin çeşitli şekillerde birlikte kullanılabilmesini ve bu birlikteliğe ait bilgisayar analizlerinin sağlıklı şekilde yapılabilmesini sağlayabilmektedir. Bu avantaj, sadece malzeme kullanımında değil, çok katlı yapılarda kullanılan taşıyıcı sistemlerin karma-hibrit olarak kullanımları durumunda da sağlıklı analiz ve değerlendirme yapabilmeye imkân sağlamaktadır. Bu sayede, karma sistemler kullanılarak çok katlı yapılar inşa edilebilmektedir. Seattle'da bulunan Two Union Square ve Columbia Seafirst Center, New York'da bulunan Citycorp Center, Minneapolis'te bulunan First Bank Place ve Singapore'da bulunan Overseas Union yapıları bu sisteme verilebilecek örnekler olarak sayılabilir.

Çok katlı yapılarda kullanılan taşıyıcı sistemlere genel olarak bakıldığında, çelik ve beton olmak üzere iki ana malzemenin kullanıldığı; özel uygulamalarda ise kompozit elemanların tercih edildiği görülebilmektedir. Çerçeve sistemler, çelik ve betonarme malzeme kullanılarak üretilebilmekte, genelde 30 kat, diğer sistemlerle karma olarak kullanılması durumunda ise 40-50 kata kadar yapı yüksekliklerine ulaşabilmektedir. Çekirdek sistem sadece betonarme olarak yapılabilen ve kat yüksekliği 20 kata kadar ulaşabilmektedir. Fakat çekirdek ve yanıl sarmalı sistem kullanıldığında beton ve çelik malzeme birlikte kullanılabilen ve kat adedi 35-40 kata kadar ulaşabilmektedir. Kirişsiz döşemeli sisteme bakıldığında, 20-25 kata kadar olan betonarme yapılarda kullanılabildiği görülebilmektedir. Perde Duvarlı Sistemler, betonarme olarak 30-35 kata kadar yapılabilen, diğer sistemlerle karma olarak kullanılması durumunda ise 40-45 kata kadar ulaşabilen bina yüksekliklerine imkân vermektedir. Kafes perdeli çerçeve ve perde duvarlı çerçeve sistemler, çelik, betonarme veya kompozit malzemeden yapılabilen ve söz konusu bu uygulamalar sayesinde 40 kat ve üzeri kat adetlerine ulaşmak mümkün olabilmektedir. Betonarme ve kompozit malzemeler kullanılarak üretilen mega kolon ve mega çekirdek sistemler, çok katlı yapılarda 50 kat ve üzeri kat adetlerine ulaşabilmek için kullanılmaktadır.

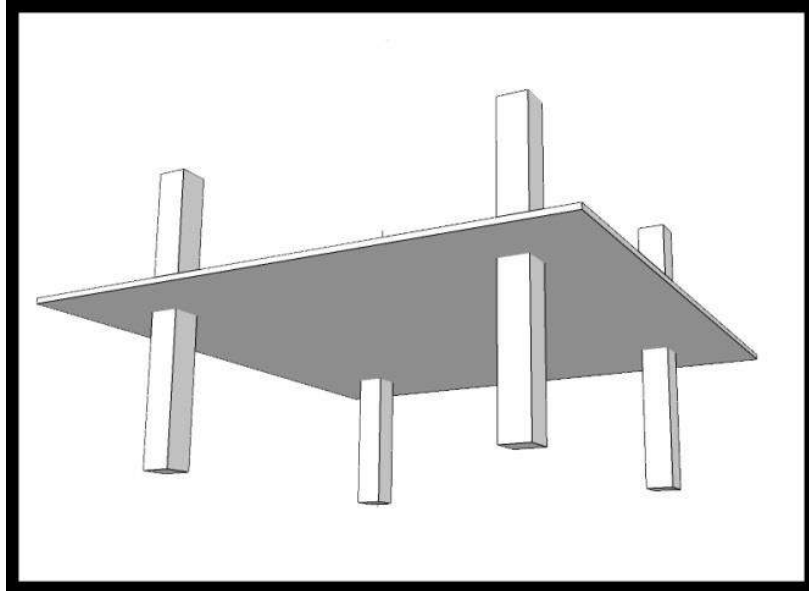
Yatay perdeli çerçeve sistemler, betonarme, çelik ve kompozit olarak, 55 kat ve üzeri kat adetlerinin yapımında kullanılmaktadır. Tüp sistemler ise betonarme, çelik ve kompozit olarak üretilebilmektedir. Chicago'daki John Hancock Center (kafes tüp, 100 kat) ve Sears Tower (demet tüp, 110 kat) veya New York'daki World Trade Center (çerçeve tüp, 110 kat) örneklerine bakıldığında kat yüksekliklerinin 100 kat ve üzeri olduğu görülebilmekle birlikte söz konusu sistemlerin 45 kat ve üzeri kat adetlerinde uygulanması avantajlı olabilmektedir. Karma sistemler, karma olarak birlikte kullanılması düşünülen taşıyıcı sistemlerin özelliklerine bağlı olarak betonarme, çelik ve kompozit olarak çeşitlenebilmekte, kat yüksekliği ise yine birlikte kullanılan sistemlerin karakteristik özelliklerine bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir.

### 3. Çok Katlı Yapılarda Kullanılan Betonarme Döşeme Sistemleri

#### 3.1. Kirişsiz Döşeme Sistemleri

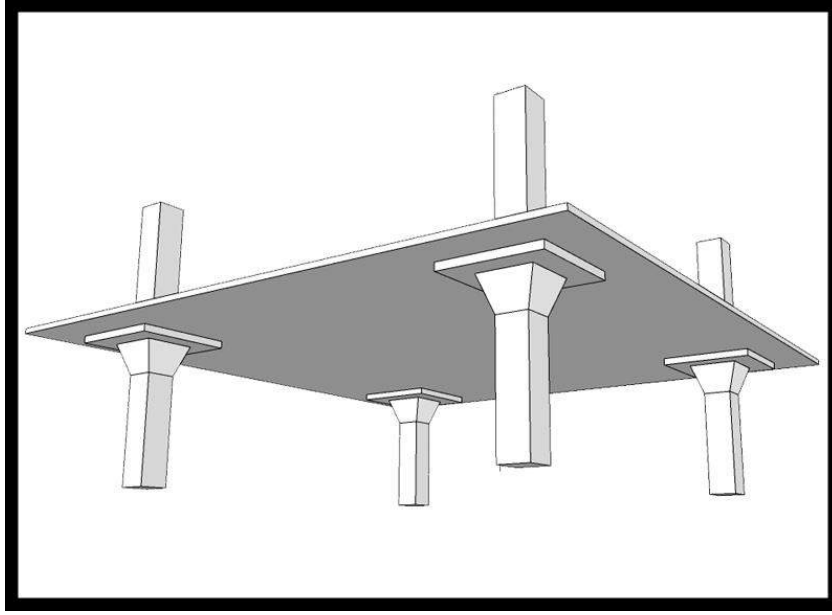
Kirişsiz döşeme sistemleri, mimari tasarımda, tasarımcılara kolaylıklar sağlamaktadır. Bu sistem, yapısında kiriş vb. engeller bulundurmamasından dolayı, iklimlendirme ve diğer tesisat sistemlerinin düzenlenmesi için elverişlidir. Döşemeden sarkan kiriş bulunmamasından dolayı, elde etmek istenilen kat yüksekliği kiriş sarkma mesafesi göz ardı edilerek sağlanabilir. Bununla birlikte, döşemenin kalınlığı ve buna bağlı olarak ağırlığı oldukça fazladır. Kirişsiz döşeme sistemleri, plak döşeme sistemleri ve mantar döşeme sistemleri olarak iki temel başlık altında değerlendirilebilir.

Plak döşeme sistemleri, döşeme açıklığı boyunca, döşeme kalınlığı değişmeyen, kalınlığı hesaplamalara bağlı olarak 15-35 cm arasında olabilen ve 8-12 metre arasındaki açıklıkların geçilebildiği döşeme sistemleridir. Sistem, kolon ve/veya perde kolonlara oturmaktadır. Sistemin kolonlara oturduğu noktalarda kesme kuvveti gerilmeleri oluşmakta, buna bağlı olarak zımbalama etkisi doğabilmekte ve bu duruma karşı tedbir alınması gerekmektedir.



Şekil 11: Plak Döşeme Sistemleri Perspektif

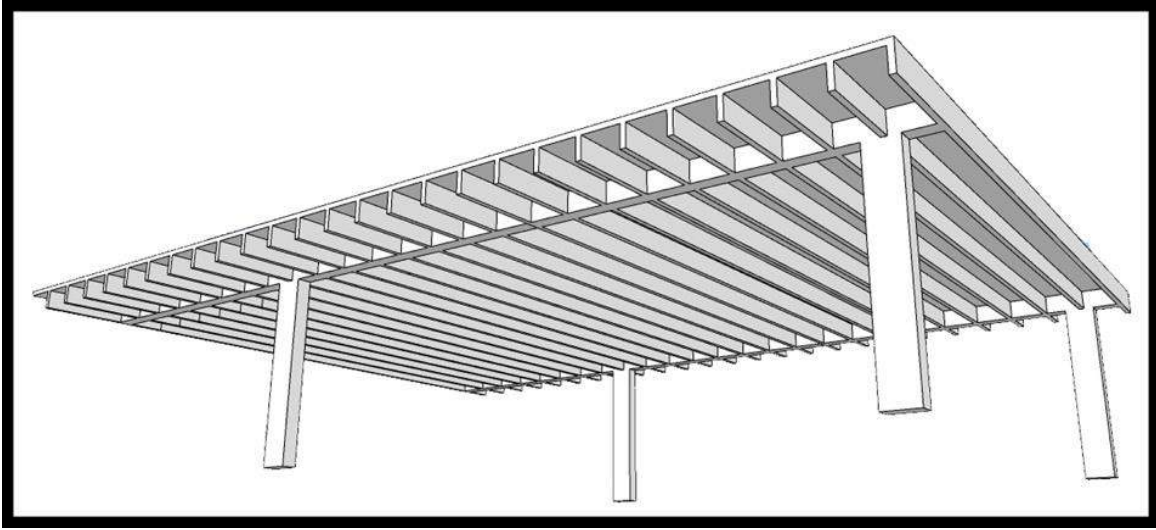
Mantar döşeme sistemleri, plak döşeme sistemlerine oranla daha masraflıdır fakat daha geniş açıklıklar geçilebilmektedir. Geçilmek istenen açıklık arttıkça, söz konusu kesme kuvvetleri ve buna bağlı olarak zımbalama etkisi artacağından, kolonların başları büyütülerek mantar şekli kazandırılır ve döşemeye temas ettikleri yüzey alanı genişletilerek zımbalama etkisine karşı koyması planlanır.



Şekil 12: Mantar Döşeme Sistemleri Perspektif

### 3.2. Nervürlü Döşeme Sistemleri

Dişli döşeme olarak da adlandırılan bu döşeme sistemleri, istenilen döşeme açıklığının geçilebilmesi, plak kalınlığının ve ağırlığının azaltılabilmesi için nervürler yapılarak dişli bir formda oluşturulur. Bu nervürler, kendi eksenlerine dik olacak şekilde yerleştirilmiş olan ana döşeme kirişlerine bağlanırlar. Nervür kirişleri 10-20 cm eninde ve 20-60 cm yüksekliğinde olabilmekte, en az 10 cm kalınlığa sahip bir plak ile üst noktalarından birbirlerine bağlanmakta ve bu kirişler ile 10-12 metre döşeme açıklıkları geçilebilmektedir. Nervürlü döşeme sistemleri, nervürlere paralel ve nervürlere dik olan iki yöndeki yanal kuvvetlere karşı aynı performansı gösteremediğinden, yanal kuvvetlerin önemli olduğu durumlarda titizlikle hesaplanmalı veya tercih edilmemelidir.

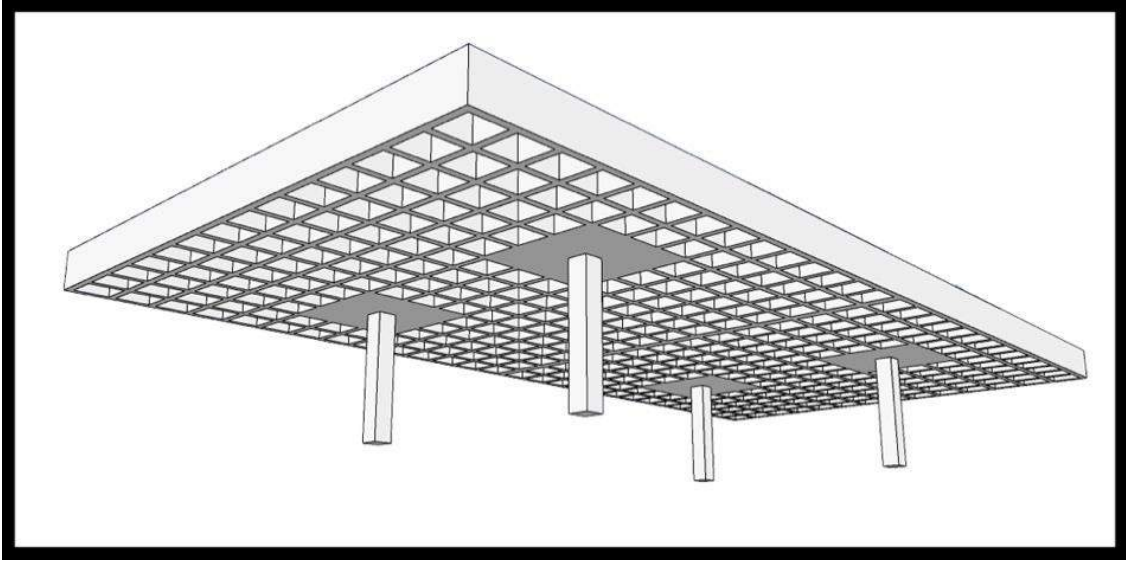


Şekil 13: Nervürlü Döşeme Sistemleri Perspektif

### 3.3. Kaset Döşeme Sistemleri

Kaset döşeme sistemleri, ağırlığı oldukça fazla olmasına rağmen uzun açıklıkların geçilebilmesi için oldukça elverişlidirler. Bu döşeme sistemleri, nervürlü döşeme sistemlerinde olduğu gibi, dişli olacak şekilde, fakat dişlerin tek yönde değil, birbirine dik her iki yönde konumlandırılması ile elde edilir. Kolonların döşemeye birleştiği noktalarda mantar döşeme sistemlerinde olduğu gibi, zımbalama etkisi söz konusu olabilir. Bu sebeple, söz konusu alandaki döşeme gövdesi doldurularak bu durumun önüne geçilebilir.



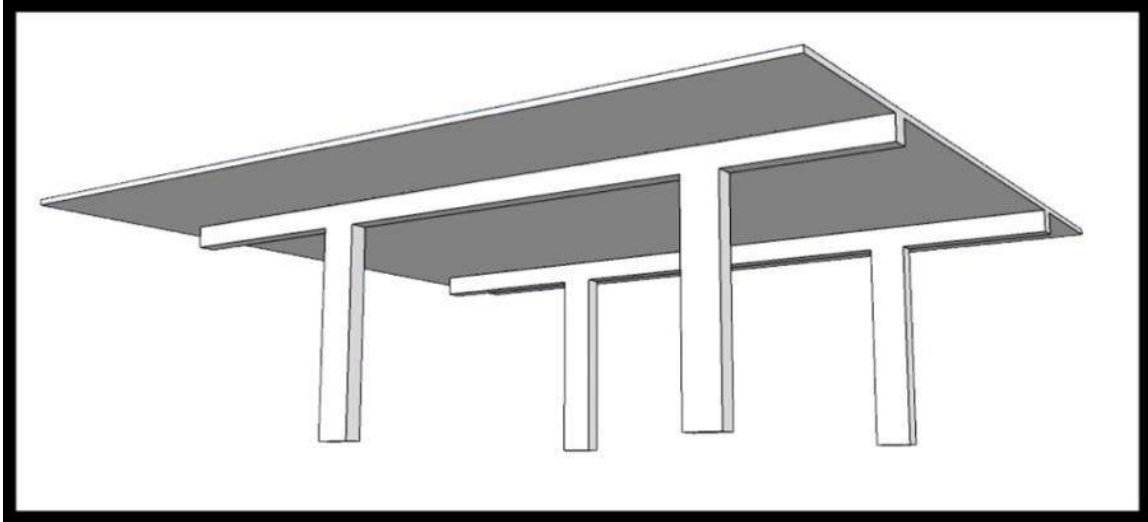


Şekil 14: Kaset Döşeme Sistemleri Perspektif

### 3.4. Kirişli Döşeme Sistemleri

Kirişli Döşeme Sistemleri; döşeme plağı ve ve kirişin bir tür rijit çerçeve kirişi gibi birlikte çalıştırılması ile oluşturulur (Sağlam, 2016). Kirişli döşeme sistemleri, Tek doğrultuda kirişli döşeme sistemleri, İki doğrultuda kirişli döşeme sistemleri ve ızgara kirişli döşeme sistemleri olarak üç temel başlık altında değerlendirilebilir.

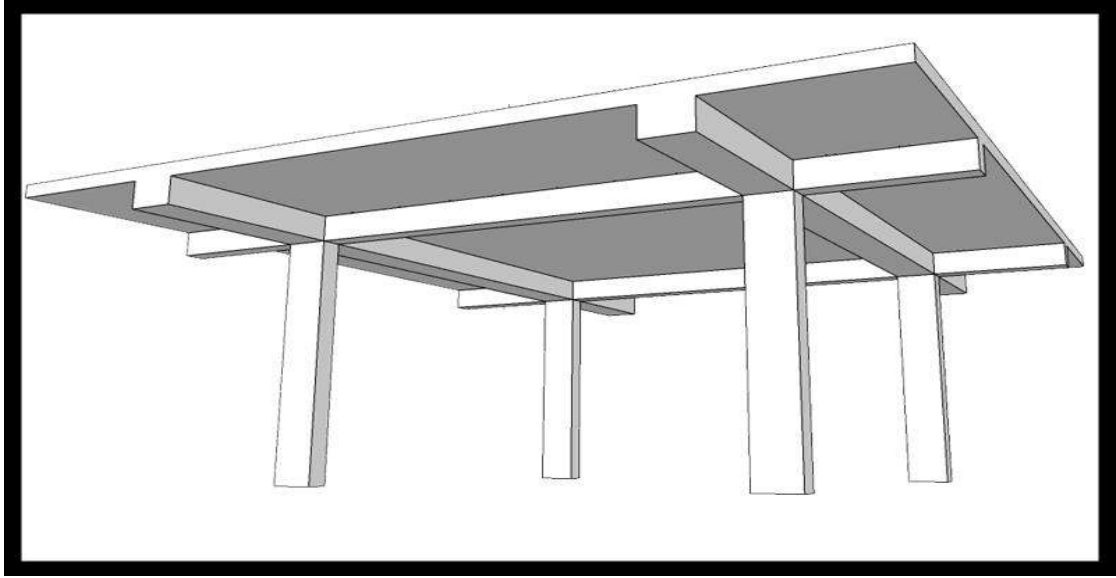
Tek doğrultuda kirişli döşeme sistemleri, aynı istikamette paralel veya radyal kirişleri birleştiren 15- 20 cm kalınlığında döşeme plaklarından oluşur. Tek doğrultulu kirişli sistem sayesinde yaklaşık 6 metrelik açıklığı tek plakla geçebiliriz. Tipik bina planında, merkezde çekirdek ve etrafındaki kolonlarının ise çekirdeğe yakın olması durumunda rahatlıkla kullanılabilir. Kirişlerin yüksekliği mesnet açıklığının yaklaşık 1/15- 1/20' sinden az olmamalıdır. Bu döşemelerde, esas donatı kısa doğrultuya paralel olarak yerleştirilmeli bu donatılar kesitin altında, bir düz ve bir pilye olarak düzenlenmelidir. Uzun doğrultuya ise dağıtma donatısı yerleştirilmelidir. Dağıtma donatısı sadece düz olarak gene kesitin altına fakat alttaki esas donatının üstüne gelecek şekilde düzenlenmelidir.



Şekil 15: Tek Doğrultuda Kirişli Döşeme Sistemleri Perspektif

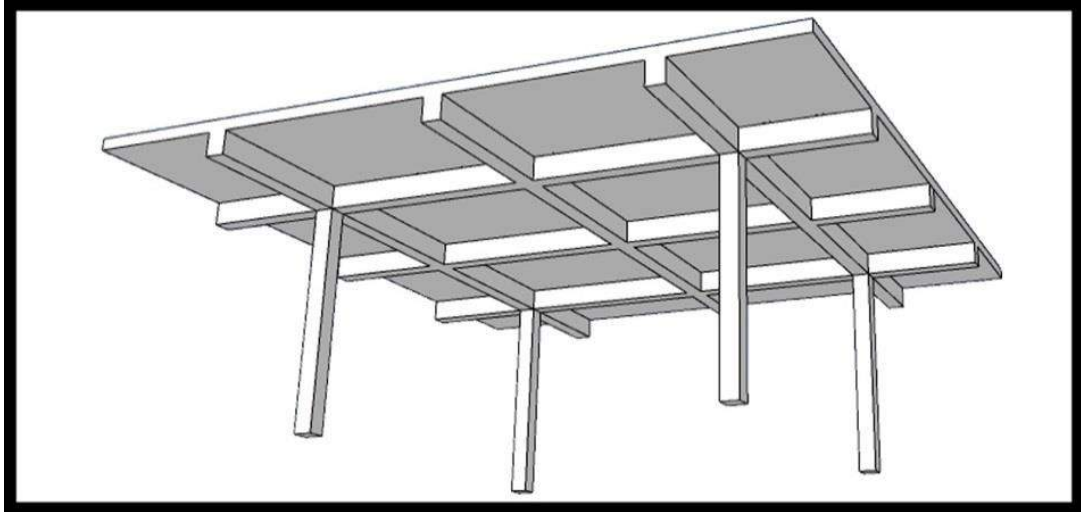
İki doğrultuda kirişli döşeme sistemleri; kısa açıklık doğrultusunda en az iki döşemenin bulunması halidir. Bu tip döşeme ise 10-15 cm kalınlığında bir plakadan oluşup ayrı iki doğrultudaki ana kirişler üzerine basmasıyla oluşur. Kirişlerin yükseklikleri, kolonların birbirine olan uzaklıkları ayrıca üzerindeki hareketli yüklerle doğru orantılıdır. Son germeli sistem kullanılması dahilinde kiriş yüksekliği büyük oranda kısaltılabilir. Bu döşeme tipi bize yaklaşık 8 metreye kadar açıklık geçme imkânı tanımaktadır. Bu sistemde açıklıkların birbirinden fazla farklı olmadığı veya daha kesin hesabın gerekli olmadığı durumlarda bu yöntem kullanılabilir. Moment hesaplarında negatif moment için plak mesnedi iç yüzü düzlemindeki kesit, pozitif moment için ise plak açıklık ortasındaki kesit esas alınır.





Şekil 16: İki Doğrultuda Kirişli Döşeme Sistemleri Perspektif

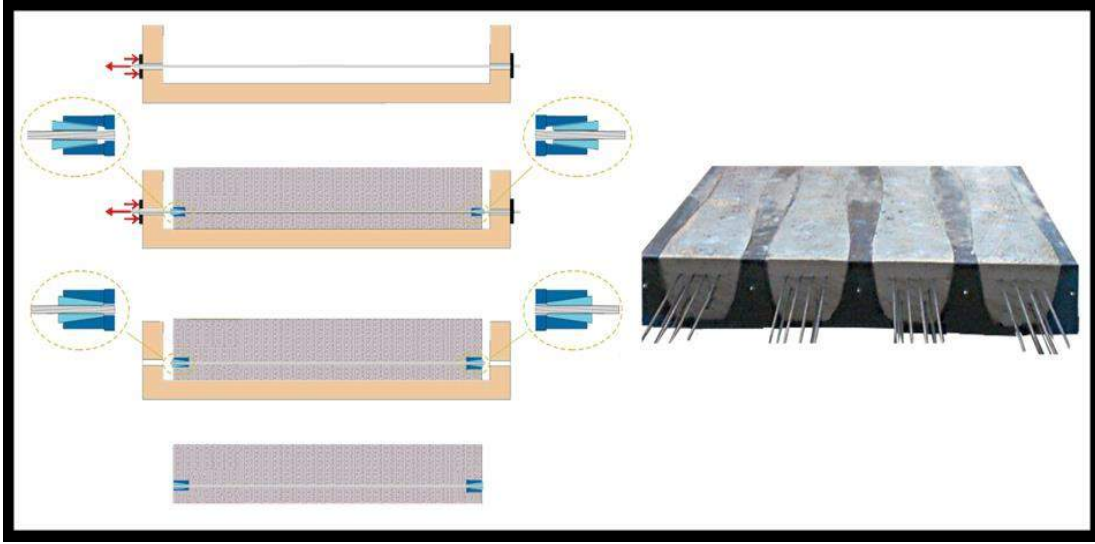
Izgara kirişli döşeme sistemleri ile kolon aksları arasındaki mesafe fazlaysa ve yapının kullanımı dahilinde taşınacak yükler ağır ise kolon akslarındaki kirişlere ek olarak her iki doğrultuda ara kirişler eklenerek açıklıklar rahatlıkla geçilebilir. Döşeme planının şekline dolayı ızgara kirişli döşeme ismini almıştır. Kolonların formlarına göre, dikdörtgen ya da kare döşeme düzenini oluştururlar. Sistemin getirdiği önemli bir diğer özellik ise, yaklaşık 15 metreye kadar açıklık geçme imkanı tanınmasıdır. Tali kirişler arasındaki mesafe azaltılarak döşemede diğer kirişlerin yükseklikleri istenilen boyutta değiştirilebilir. Statik açıdan kaset döşemeyle benzerlik gösterir. Yapıda ihtiyaç duyulan irili ufaklı bütün boşluklar için ideal bir yapıya sahiptir.



Şekil 17: Izgara Kirişli Döşeme Sistemleri Perspektif

### 3.5. Ön Germeli Döşeme Sistemleri

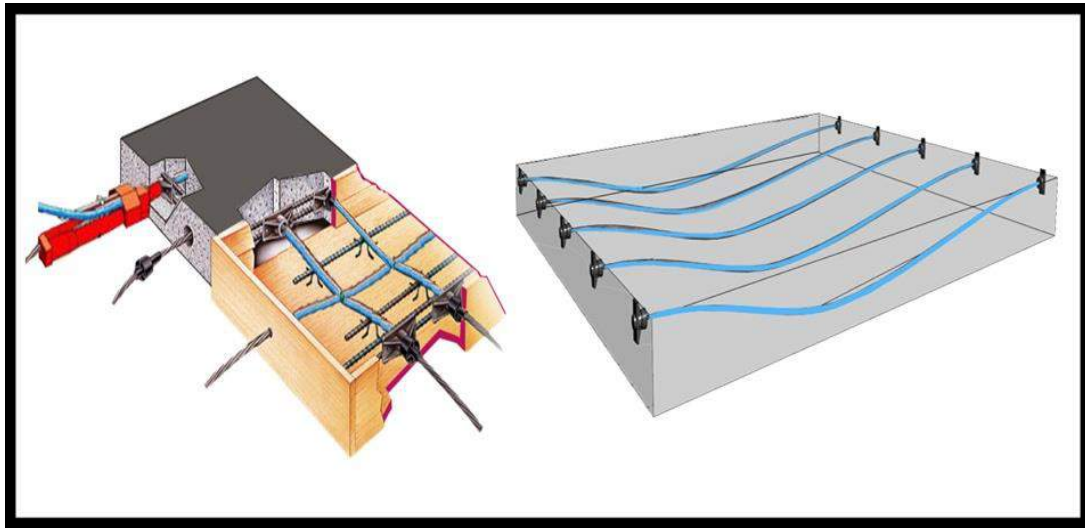
Ön germeli döşeme sistemleri, diğer adıyla precast sistemler 1960' lı yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. Beton plakta ön germeli basınç gerilmeleri meydana getirilerek, betonun çekme gerilme kuvvetlerine maruz kalmasını engellemek amaçlanmaktadır. Bu sayede, çok daha narin kesitlerin dizaynına olanak tanınabilmektedir. Alışveriş merkezleri ve otoparklarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Boşluklu döşemelerde ön germe işlemi, tutucu kafalar arasında gerdirilen ön germe tellerinin bulunduğu döşeme bandına gezici makineyle betonun dökülüp sıkıştırılması ve beton belli bir mukavemete ulaştıktan sonra tellerin bağlantılardan kurtarılması ile uygulanır. Böylece teller ve beton arasındaki aderans sayesinde kuvvet betona aktarılır. Transfer aşamasında çelik ve beton arasında gerilme dengesi sağlanır.



Şekil 18: Ön Germeli Döşeme Sistemleri Perspektif

### 3.6. Ard Germeli Döşeme Sistemleri

Ard germe, betonu çekme kuvvetlerine karşı kuvvetlendirmek için kullanılan yüksek dayanımlı çelik halatların, beton dökümü işleminden sonra gerilmesi yöntemidir. Yapı inşa alanında üretilen ard germe döşeme sistemleri, 1980'li yıllardan itibaren çok katlı, özellikle ofis amaçlı kullanılan binalarda görülmektedir. Bu sistemler, içerisindeki yuvalarında bulunan 12,7 ya da 15,2 milimetrelilik ileri seviyede çelik tendonlar barındırır. Kirişlerin zamanla sarkmasını engellemek istenilirse, kirişsiz döşeme sistemi mevcutsa döşemenin kalınlığını azaltmak için ard germe yöntemi kullanılır. Ard germe, köprülerde çok büyük açıklıkların geçilmesini ve kiriş sürekliliği sağlar. Ard germe işlem sırası şu şekildedir; beton dökülmeden önce donatılar içine koruyucu kılıflar yerleştirilir. Beton dökülmesinden sonra, ard germe halatları koruyucu kılıfların içerisine sürülür. Hidrolik krikolar kullanılarak, proje aşamasında hesaplanan basınç kuvvetleri altında çelik halatlar gerilir. Gerilme işleminin ardından ard germe halatları kesilir. Kılıflara daha önce yerleştirilen hortumlardan özel çimento şerbeti (grout) basınçla yerleştirilir.



Şekil 19: Ard Germeli Döşeme Sistemleri Perspektif

## 4. İstanbul'daki Çok Katlı Yapıların Betonarme Döşeme Sistemleri

İstanbul, çok katlı yapıların yoğunlukla görüldüğü şehirlerden biridir. Araştırma kapsamında, İstanbul'da bulunan, 1992 ile 2010 yılları arasında tamamlanmış, yirmi beş adet çok katlı yapı seçilmiştir. Söz konusu yapılar, toplam yapı yüksekliği, kat adedi, yapı fonksiyonu, taşıyıcı sistem cinsi, kullanılan temel cinsi ve kalınlığı, kat yüksekliği, kiriş açıklığı, kalınlığı ve malzeme cinsi, kolon açıklığı ve malzeme cinsi başlıkları üzerinden incelenmiş, bu veriler Tablo 1'de tablolandırılmıştır. Bu veriler incelendiğinde, rastgele seçilmiş bu yirmi beş yapının, toplam yapı yüksekliklerinin 90 ile 261 metre arasında değiştiği ve ortalama yapı yüksekliğinin 131

metre olduğu görülmektedir. Kat adetlerinin 27 ile 64 adet arasında değişkenlik gösterdiği, ortalamada ise 34,24 adet olduğu, bu kat adetlerinin 1 ile 11 adet arasında bodrum kata sahip olduğu, ortalamada ise, 5,48 adet düzeyinde bulunduğu görülmektedir. Yapı fonksiyonu olarak, AVM, konut, otel ve ofis kullanımının mevcut olduğu, bununla birlikte, %64 oranında ofis fonksiyonunun ağırlıklı olarak tercih edildiği görülmektedir. Tablo 1'e göre yapıların tamamına yakınında çekirdek ve çerçeve tüp / kolon sistemin kullanıldığı, %96 oranında radye temel cinsinin tercih edildiği ve temel kalınlığı olarak 150 ile 300 cm arasında değişkenlik gösterdiği, ortalamada ise, 240 cm olduğu görülmektedir. Kat yüksekliklerinin 300 ile 500 cm aralığında bulunduğu, ve ortalamada 368 cm olduğu görülebilmektedir. Kiriş açıklıklarının 600 cm ile 900 cm arasında değişkenlik gösterdiği ve ortalamada ise, 790 cm olduğu görülmektedir. Kiriş kalınlıklarının ise, 32 cm ile 110 cm arasında değişkenlik gösterdiği ve ortalamada ise 53,33 cm olduğu görülebilmektedir. Kolon açıklıklarının, 300 cm ile 960 cm arasında değişkenlik gösterdiği ve ortalamada ise 710 cm olduğu görülmektedir.

Tablo 1. İstanbul'daki Çok Katlı Yapıların Taşıyıcı Sistem Özellikleri

Yapı İsmi Tamamlanma Tarihi	Yapı Yük. (M)	Kat Adedi	Yapı Fonksiyonu	Taşıyıcı Sistem Cinsi	Temel Cinsi	Temel Kalınlığı (M)	Kat Yüksekliği (cm)	Kiriş Açıklığı (M)	Kiriş Kalınlığı (cm)	Kiriş Malzemesi	Kolon Açıklığı (M)	Kolon Malzemesi
Istanbul Sapphire (2010)	261	64 (10)	AVM/Konut	Çekirdek + Çerçeve	Betonarme Radye	1,5-3	400	9	105	Betonarme	9	Betonarme
İş Bankası Kule 1 (2000)	181	52 (5)	Ofis	Çekirdek+Çevre Tüp	Betonarme Radye	3	400	8	38	Betonarme	8	Betonarme
Şişli Plaza (2007)	170	44 (4)	Konut	Çekirdek+Çevre Tüp	Betonarme Radye	3	350	8	60	Betonarme	8	Betonarme
Selenium Twins Kule 1 ve 2 (2010)	159	42 (5)	Konut	Çekirdek+Çevre Kolon	Betonarme Radye	2,2	350	8,5	40	Betonarme	8,5	Betonarme
Koza Plaza Kule 1 ve 2 (2006)	152	44 (4)	Ofis	Çekirdek+Çevre Kolon	Betonarme Radye	2,2	365	-	-	Betonarme	9	Betonarme
Metrocity B Blok (2003)	135	27 (5)	Konut	Çekirdek+Çevre Tüp	Betonarme Radye	3	500	8	50	Betonarme	8	Betonarme
Sabancı Center Kule 2 (1993)	142	39 (5)	Ofis	Çekirdek+Çevre Kolon	Betonarme Radye	1,5	370	7,5	45	Betonarme	6	Betonarme
Garanti Bankası Merkezi(2002)	141	21 (7)	Ofis	Çekirdek+Çevre Kolon	Betonarme Radye	2	450	9	50	Betonarme	9	Betonarme
Beybi Giz Plaza (1996)	136	34 (4)	Ofis	Çekirdek+Çevre Tüp	Betonarme Radye	2	310	6	40	Betonarme	6	Betonarme
Süzer Plaza (2001)	136	41 (11)	Konut/ Ofis/Otel	Çekirdek+Çevre Kolon	Betonarme Radye	2	400	6,5	40	Betonarme	6,5	Betonarme
Elit Residence (2001)	133	40 (5)	Konut	Çekirdek+Çevre Tüp	Betonarme Radye	3	350	8	40	Betonarme	8	Betonarme
Astoria Kule 1 ve 2 (2007)	127	27 (5)	Konut/ Ofis/Otel	Çekirdek+Çevre Kolon	Betonarme Radye	2,5	415	8	50	Betonarme	8	Betonarme
Yapı Kredi Merkez B. (1993)	120	30 (7)	Ofis	Çekirdek+Çevre Tüp	Betonarme Radye	2,5	300	8	50	Betonarme	8	Betonarme
Tekfen Tower (2003)	120	34 (7)	Ofis	Çekirdek+Çevre Kolon	Betonarme Radye	2,9	400	7,5	40/60/75	Betonarme	7,5	Betonarme
Selenium Residence (2004)	120	30 (5)	Konut	Çekirdek+Çevre Tüp	Betonarme Radye	3	400	8	110	Betonarme	9	Betonarme
Uphill Towers Kule 1 ve 2 (2008)	120	36 (5)	Konut	Çekirdek+Çevre Kolon	Betonarme Radye	2	300	7	32	Betonarme	7	Betonarme
Kozyatağı İş Merkezi (2003)	119	30 (5)	Ofis	Çekirdek+Çevre Kolon	Betonarme Radye	2,5	385	6,5	60	Betonarme	6,5	Betonarme
Zorlu Plaza / Gelişim Tower (2001)	118	30 (1)	Ofis / Üniversite	Çekirdek+Çevre Tüp	Betonarme Kazık Temel	40	370	8	60	Betonarme	5	Betonarme
Kanyon Kule (2006)	118	30 (8)	AVM/Konut /Ofis	Çekirdek+Çevre Kolon	Betonarme Radye	2,5	400	8	75	Betonarme	8	Betonarme
Apa Giz Plaza (2008)	112	32 (7)	Ofis	Çekirdek+Çevre Kolon	Betonarme Radye	2	340	9	50	Betonarme	9	Betonarme
Maslak Sheraton (1992)	99	27 (5)	Otel	Çekirdek+Çevre Kolon	Betonarme Radye	3	360	9,6	50	Betonarme	9,6	Betonarme
İz Plaza Giz (2003)	91	28 (6)	Ofis	Çekirdek+Çevre Tüp	Betonarme Radye	2	320	8,2	40	Betonarme	4,1	Betonarme
Harmancı Giz Plaza (2001)	90	24 (5)	Ofis	Çekirdek+Çevre Tüp	Betonarme Radye	2	320	8,2	40	Betonarme	4,1	Betonarme
Giz 2000 Plaza (1999)	90	23 (3)	Ofis	Çekirdek+Çevre Tüp	Betonarme Radye	2	320	8,2	40	Betonarme	3	Betonarme
Spring Giz Plaza (1994)	90	27 (3)	Ofis	Çekirdek+Çevre Tüp	Betonarme Radye	2	320	7	40	Betonarme	3,5	Betonarme

Belirlenen çok katlı yapılar, kirişli, kirişsiz, nervürlü, kaset, ön germeli ve ard germeli döşeme cinsleri bakımından incelenmiş, bu inceleme sonucunda %52 oranında kaset döşeme sisteminin, %40 oranında ise iki doğrultuda çalışan kirişli döşeme sisteminin, % 4 oranında mantar döşeme sisteminin ve %4 oranında nervürlü döşeme sisteminin tercih edildiği Tablo 2'de görülebilmektedir. Söz konusu yapılarda %52 oranında tercih edilen kaset döşeme sistemlerinin 10 cm ile 40 cm arasında kalınlığa sahip olduğu, ortalamada ise, 21,23 cm olduğu görülmektedir. İki doğrultuda kirişli döşeme sistemlerinin 12 cm ile 20 cm arasında değişkenlik gösterdiği ve ortalamada ise 17,40 cm olduğu görülebilmektedir.

Tablo 2. İstanbul'daki Çok Katlı Yapıların Döşeme Sistemlerinin Karşılaştırılması

Yapı İsmi	Betonarme Döşeme Cinsi								
	Kirişsiz Döşeme		Nervürlü Döşeme	Kaset Döşeme	Kirişli Döşeme			Ön Germeli	Ard Germeli
	Plak	Mantar			Tek D.	İki D.	Izgara		
İstanbul Sapphire	-	-	-	*	-	-	-	-	-
				Kalınlık 40 cm					
İş Bankası Kule 1	-	-	-	*	-	-	-	-	-
				Kalınlık 38 cm					
Şişli Plaza	-	-	-	-	-	*	-	-	-
						Kalınlık 15 cm			
Selenium Twins Kule 1 ve 2	-	-	-	*	-	-	-	-	-
				Kalınlık 30 cm					
Koza Plaza Kule 1 ve 2	-	*	-	-	-	-	-	-	-
		Kalınlık 30 cm							
Metrocity B Blok	-	-	-	-	-	*	-	-	-
						Kalınlık 15 cm			
Sabancı Center Kule 2	-	-	-	-	-	*	-	-	-
						Kalınlık 20 cm			
Garanti Bankası Merkezi	-	-	-	-	-	*	-	-	-
						Kalınlık 20 cm			
Beybi Giz Plaza	-	-	-	*	-	-	-	-	-
				Kalınlık 10 cm					
Süzer Plaza	-	-	-	*	-	-	-	-	-
				Kalınlık 40 cm					
Elit Residence	-	-	-	*	-	-	-	-	-
				Kalınlık 10 cm					
Astoria Kule 1 ve 2	-	-	-	-	-	*	-	-	-
						Kalınlık 18 cm			
Yapı Kredi Merkez B.	-	-	-	-	-	*	-	-	-
						Kalınlık 20 cm			
Tekfen Tower	-	-	-	-	-	*	-	-	-
						Kalınlık 14 cm			
Selenium Residence	-	-	-	-	-	*	-	-	-
						Kalınlık 20 cm			
Uphill Towers Kule 1 ve 2	-	-	-	*	-	-	-	-	-
				Kalınlık 10 cm					
Kozyatağı İş Merkezi	-	-	-	-	-	*	-	-	-
						Kalınlık 12 cm			
Zorlu Plaza / Gelişim Tower	-	-	-	-	-	*	-	-	-
						Kalınlık 20 cm			
Kanyon Kule	-	-	*	-	-	-	-	-	-
			Kalınlık 12 cm						
Apa Giz Plaza	-	-	-	*	-	-	-	-	-
				Kalınlık 40 cm					
Maslak Sheraton	-	-	-	*	-	-	-	-	-
				Kalınlık 18 cm					
İz Plaza Giz	-	-	-	*	-	-	-	-	-
				Kalınlık 10 cm					
Harmancı Giz Plaza	-	-	-	*	-	-	-	-	-
				Kalınlık 10 cm					
Giz 2000 Plaza	-	-	-	*	-	-	-	-	-
				Kalınlık 10 cm					
Spring Giz Plaza	-	-	-	*	-	-	-	-	-
				Kalınlık 10 cm					

## 5. Sonuç

Teknolojinin gelişmesi ve şehirlerin her geçen zaman diliminde daha fazla kalabalıklaşması çok katlı binaların ortaya çıkmasında önemli olmuştur. Şehir merkezlerinde yaşanan nüfus artışları sonucu, yatayda yapılan konut yapıları yetersiz kalmış ve kullanıcıların ihtiyacına cevap verememiştir. Bu durum, çok katlı yapılara olan ihtiyacı ortaya çıkarmıştır. Çok katlı yapılar tasarlanırken en önemli etken taşıyıcı sistemdir. Çok katlı yapılar ile az katlı yapıları ayıran diğer bir önemli unsur da, taşıyıcı sistemleri tasarlanırken düşey yüklerle ek olarak yatay yüklerin de hesaba katılması gerektiğidir. Bu gereklilikler, birçok taşıyıcı sistem çeşidinin ortaya çıkmasını sağlamıştır.



Bu çalışmada, İstanbul'da yer alan ve 1992 - 2010 yılları arasındaki, 18 yıllık sürede tamamlanmış, yirmi beş adet çok katlı yapı incelenmiş, çeşitli kriterler üzerinden değerlendirilmiştir. İlgili yapıların yapı yüksekliğine bakıldığında, ortalama yükseklik olarak 131 metre düzeylerinde olduğu görülmüştür. Kat adetlerine bakıldığında, ortalamada 34,24 adet kat sayısına sahip oldukları ve bu kat adetlerinin ortalamada 5,48 adet düzeyinde bodrum kata sahip olduğu görülmüştür. Yapılarda, %64 oranında ofis fonksiyonu tercih edilmiştir. Söz konusu yapıların tamamına yakınında çekirdek ve çerçeve tüp / kolon sistemin kullanıldığı görülürken, radye temel cinsinin %96 oranında tercih edildiği ve ortalamada 240 cm temel kalınlığına sahip oldukları görülmüştür. Yapıların kat yüksekliklerinin ortalama 368 cm olduğu ve giriş açıklıklarının ortalamada 790 cm düzeyinde, giriş kalınlıklarının ise ortalamada 53,33 cm düzeyinde olduğu görülmüştür. İlgili yapıların ortalamada 710 cm kolon açıklığına sahip olduğu ve %96'lık oranda betonarme radye temel kullanıldığı görülebilmektedir. Yapıların döşeme sistemleri incelendiğinde ise %52'lik bir kısmının kaset döşeme, %40'lık bir kısmının ise iki doğrultuda çalışan kirişli döşeme sistemi ile inşa edildiği görülmüştür.

## **Kaynakça**

- Acar, E. (1999). Neolitik- Kalkolitik Çağ, Tunç Çağı Kentleri, ed. Y. Sey, Tarihten Günümüze Anadolu' da Konut ve Yerleşme, Tarih vakfi Yayınları, İstanbul.
- Akurgal, E. (2005). Anadolu Kültür Tarihi, TÜBİTAK Yayınları, Başak Matbaacılık, Ankara.
- Alabçın, M. (1991). Türkiye'de 1985- 1990 Dönemi Yüksek Bina Projeleri, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ali, M., Moon, K. S. (2007). Structural Developments in Tall Buildings: Current Trends and Future Prospects, Champaign, USA.
- Anonim 1. (1997). Yenilikler, Hürriyet Gazetesi, 7 Aralık 1997.
- Ardıç, H. (1993). Betonarme Yüksek Yapıların Taşıyıcı Sistemlerinin İncelenmesi ve Tüp Taşıyıcı Sistemli Yüksek Yapının Dinamik Hesabı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Aslanoğlu, İ. N. (1980). 1923- 1938 Erken Cumhuriyet dönemi Mimarlığı, Ankara.
- Aydınöz, A. A. (1995). Yüksek Yapılar ve İnsan, Mimarlık Dekorasyon, S: 31, S:64.
- Aytıs, S. (1991). Yüksek Yapıların Gelişimine Toplu Bir Bakış, Yapı Dergisi, S:116, S:46.
- Aytıs, S. (1991). Yüksek Yapılarda Yaşam, Yapı Dergisi, S:121, S:49.
- Bayır, L. (1988). Türkiye' de Yüksek Yapıların Başlangıç ve Gelişmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Bektaş, C. (1989). Yüksek Yapılar ve Mersin Gökdeleni, Yapı Dergisi, Sayı 89, -Nisan 1989, S: 62.
- Beyazoğlu, İ. T. (1997). Yüksek Yapılarda Tübüler Taşıyıcı Sistemler ve Uygulama Örnekleri, Yüksek Lisans Tezi, M.S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Büyüklü, K. (1998). Çok Katlı Yüksek Yapılarda Çekirdekli Sistemler ve Uygulama Örneklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi Mimarlık Bölümü, İstanbul.
- Çelik, M. D. (2003). Yüksek Yapılarda Çelik Taşıyıcı Sistemler, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Coşkun, A. Tanaçan, L. (1989). Yüksek Yapıların Tasarım Sorunları, Yüksek Yapılar I. Ulusal Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, sf:287, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Diez, E. (1995). Türk Sanatı 2, İstanbul.
- Ersoy, D.O. (1993). Yüksek Binalarda Tasarım İlkeleri, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- Ersoy, U. Çıtırıoğlu, E. (1976). Yüksek Yapıların Tasarım ve Yapımında İzlenecek Temel İlkeler, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Göçer, O. (1969). Gökdelenler, Mimarlık Dergisi, S: 27.
- Günel, M. H. Ilgın, H. E. (2010). Yüksek Binalar Taşıyıcı Sistem ve Aerodinamik Form, ODTÜ Mimarlık Fakültesi Basım İşliği, Ankara.
- İşık, M. (2008). Çok Katlı Betonarme Yapılarda Taşıyıcı Sistem Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kabarık, Y. (1991). İstanbul'da Yüksek Binalar ve Beşiktaş- Levent- Maslak Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- Karataş, H. (1979). Asma Sistemler, İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- Kejanlı, T. (2005). Anadolu' da İlk Yerleşmeler ve Kentleşme Eğilimleri, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, Dicle Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Diyarbakır.
- Kırkan, H. S. (2005). Çok katlı Yüksek Yapıların Tasarımına Etki Eden Faktörlerin İrdelenmesi, Yüksek lisans tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Konyar, E. (2014). Mezopotamya Tarihi, İstanbul Üniversitesi Açık ve Uzaktan Eğitim Programı, İstanbul.
- Mir, M. A. Kyoung S. M. (2011). Structural Developments in Tall Buildings: Current Trends and Future Prospects, Architectural Science Review,
- Özgen, A. (1989). Çok Katlı Yüksek Yapıların Tarihsel Gelişimi ve Son Aşama: Tübüler Sistemler, Yapı Dergisi, S: 89, S: 47.
- Özgen, A. (1989). Çok Katlı Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistemler, Mimar Sinan Üniversitesi Mimarlık Bölümü, İstanbul.
- Özgen, A. Sev, A. (2000). Çok Katlı Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistemler, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Özşen, G. Yamantürk E. Akdumanlar, E. (1989). Çok Katlı Çelik Yapıların Tasarım İlkeleri, Yapı Dergisi, S: 43.
- Özşen, G. Yamantürk, E. (1991). Taşıyıcı Sistem Tasarımı, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Piroğlu, F. (2001). Çok Katlı Çelik Yapılar, Yapısal Çelik Haftası Seminerleri, İTÜ Ayazağa Kampüsü, İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Rafainer, F. (1968). Hochhaeuser", Bauverlag GmbH, Berlin.



- Sağlam, M. R. (2016). Yüksek Yapılar İstanbul'dan Örnekler, Nobel Yayıncılık, Ankara.
- Schueller, W. (1977). "High- Rise Building Structures", John Wiley & Sons, New York, 1993- Çeviri: "Yüksek Yapı Taşıyıcı Sistemleri", E. Yamantürk-G. Özşen.
- Şener, A. Z. (1995). Büro Binalarında Çekirdek Çözümü, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- Turani, A. (1979). Dünya Sanat Tarihi, Ankara.
- Tümer, Ö. H. (2006). Dışa Kapalı Konut Yerleşmelerinin Bursa' da ki Örnekler Kapsamında Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- Ünal, M. (1979). Türkiye'de Apartman Olgusunun Gelişimi, Çevre, 4, İstanbul.
- Yılmaz, A. B. (1992). Yükseklik Tutkusu ve Gökdelenlerin Gelişimi, Dizayn Konstrüksiyon Dergisi, S: 79, S: 43.
- Yeang, K. (2000). Service Cores, John Wiley & Sons Inc., New York
- Yünüak, M. (1996). Büro Plan Düzeni Tasarımı İçin Bilgisayar Destekli Bir Mimari Tasarım Modeli, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- URL-1: <http://arfen.com.tr/ard-germe-nedir> (Erişim Tarihi: 05.04.2018)
- URL-2: [https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Prestressed\\_concrete](https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Prestressed_concrete) (Erişim Tarihi: 18.07.2018)
- URL-3: <https://people.utm.my/shamsulhadi/meeting-2-slides/shb-prestressed-concrete-space-007/> (Erişim Tarihi: 13.09.2018)
- URL-4: <http://sterlingpk.com/en/services-2/index.html> (Erişim Tarihi: 07.01.2019)
- URL-5: <https://www.amsyscoinc.com/products-services/monostrand-post-tension/> (Erişim Tarihi: 13.02.2019)
- URL-6: <https://vasshaug.net/2013/02/27/post-tension-structures-in-revit/> (Erişim Tarihi: 24.03.2019)



# Earthquake Vulnerability Assessment of RC Structures with Variable Infill Wall Properties

Hakan Dilmaç<sup>1\*</sup>, Fuat Demir<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Suleyman Demirel University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Isparta, Turkey (ORCID: 0000-0003-0346-8875)

<sup>2</sup> Suleyman Demirel University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Isparta, Turkey (ORCID: 0000-0001-6726-3831)

(İlk Geliş Tarihi 26 Temmuz 2019 ve Kabul Tarihi 23 Eylül 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.597194)

**ATIF/REFERENCE:** Dilmaç, H. & Demir, F. (2019). Earthquake Vulnerability Assessment of RC Structures with Variable Infill Wall Properties. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 176-189.

## Abstract

The infill walls are often used to the aim of dividing the residential area to provide the architectural requirements according to purpose of use in residential RC structures. Although there is conflict about the infill walls occur a RC structure less vulnerable to earthquake impacts, the beneficial influence of the infill walls on dynamic and static behaviors of RC structures is generally thought. Therefore, understanding the contribution of the infill wall to structural behavior of RC structures is very significant in terms of the structural safety. This study investigates the influence of infill wall having variable mechanical properties as compressive strength and thickness on structural behavior and earthquakes performance of low-rise residential RC structures. In the study, the selected RC structures for earthquake vulnerability assessment are existing residential buildings. The nonlinear static analyzes are carried out for each direction by considering architectural plan of each of RC structure to determine influence of infill wall having variable properties on the structural and earthquake behavior. The target displacements, fundamental periods and relative drift ratio of each story of each RC structures are determined from analysis results. The analyzes are also made for the bare-frame cases of RC structures and are compared with behavior of infilled frames of them. When the results obtained in the this study are evaluated, the existing infill walls and differences in the its mechanical properties significantly affected earthquake vulnerability the RC structures, positively.

**Keywords:** RC structures, Earthquake vulnerability, Infill wall, Structural behavior

## Değişken Dolgu Duvar Özellikli Betonarme Yapıların Deprem Güvenliklerinin Değerlendirilmesi

### Öz

Betonarme yapılarda dolgu duvarlar genellikle yapının mimari gereksinimlerinden dolayı bölme elemanları olarak kullanılmaktadır. Dolgu duvarların deprem etkisine karşı daha zayıf olduğuna dair bir fikir birliği olmamasına rağmen yapının deprem davranışını genellikle olumlu etkilediği düşünülmektedir. Bu nedenle dolgu duvarların betonarme yapıların yapısal davranışına katkısının anlaşılması çok önemlidir. Bu çalışmada dolgu duvarın basınç dayanımı ve kalınlığı gibi mekanik özelliklerinin yapıların deprem davranışa ve performansına olan etkisi incelenmektedir. Bu amaçla, farklı yapısal özellikler sahip konut türü mevcut betonarme binalar seçilmiştir. Değişken özelliklere sahip dolgu duvarlı mevcut betonarme yapıların yapısal ve deprem davranışını incelemek için mimari planları da dikkate alınarak DBYBHY (2007) esaslarına göre her iki yatay doğrultuda doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarından her bir betonarme binaya ait hedef yerdeğiştirmeler, doğal titreşim periyotları ve görel kat öteleme değerleri belirlenmiştir. Dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız çerçeve sistemlerin incelenmesi yapılmış ve karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda dolgu duvarlar betonarme yapıların deprem performansına olumlu katkısı sağladığı ve duvarın basınç dayanımı ile kalınlığının yapısal davranış önemli ölçüde etkilediği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Betonarme yapılar, Deprem güvenliği, Dolgu duvar, Yapısal davranış

\* Sorumlu Yazar: Suleyman Demirel University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Isparta, Turkey, ORCID: 0000-0003-0346-8875, [hakandilmac@sdu.edu.tr](mailto:hakandilmac@sdu.edu.tr)

## 1. Introduction

Considering the loss of life and property, one of the most significantly natural disasters affecting mankind since its existence is earthquakes. For this reason, the largest and most important need of the time is to build safe structures against the earthquake forces. The elements that are commonly used as partitions in the frame systems of RC structures are the infill walls by considering the structural and architectural requirement in many part of the world. Therefore, understanding the seismic behavior of RC structures with wall during the earthquake and influence of factors affecting the earthquake performance of RC structures is very important.

In recent years, the structural behavior and design of frames with infill wall has been extensively investigated by many researchers. A comprehensive review of the study on frames with infill wall was reported through the mid-1980's by researchers (Moghaddam & Dowling, 1997). Some experimental studies in the past have aimed to evaluate behavior of frames with infill wall to obtain formulations of limit strength and equivalent rigidity (Klingner & Bertero, 1978; Bertero & Brokken, 1983; Mander & Nair, 1994; Madan et al., 1997). The influence of infilled frames on the seismic behavior of RC frames has been investigated (Uva et al., 2012), pointing out some problems about the precision to the material parameters and the selection of the modelling. Chrysostomou and Asteris (2012) outlined the in-plane behavior and failure modes of infilled frames and provided simplified methods to predict these modes. The influence on the fundamental period of infilled frame with wall contribution to lateral rigidity of RC structures were evaluated (Ricci et al., 2011) and the contribution of frames with infill wall has been realized on the structural responses of frames by many researchers (Reinhorn, 1997; Nollet & Smith, 1998; Shota & Riddington, 2001; Pujol & Fick, 2010; Sattar & Liel, 2010; Hermanns et al., 2014; Korkmaz et al., 2015; Bas et al., 2017; Kaçım, 2017; Dilmaç et al., 2018). Similarly, some studies have been made to determine on seismic response of buildings with and without masonry infill wall using experimental evaluation, energy-based approach, probabilistic assessment or shaking-table test with the aim of improve effective strengthening techniques to develop their performance and prevent collapse (Dolsek & Fajfar, 2008; Penna et al., 2014; Sattar & Liel, 2016; Furtano et al., 2016; Merter et al., 2017; Tekeli & Aydın, 2017; Banavent-Climent et al., 2018; Peng & Guner, 2018; Dilmaç et al., 2018).

The single or multiple equivalent compressive diagonal strut assumption for the simulating the structural behavior of infill wall is defined to be sufficient in investigating the response of infilled frames of RC structures.

However, many method has been developed to investigate influence of nonlinear behavior of infill walls by the researchers (Perera, 2005; Samoil'a, 2012; Dilmaç & Demir, 2019; Kareem & Guneyisi, 2018).

In the design and analysis of infilled frames with wall should properly consider the highly nonlinear behavior of structural system during the lateral forces. A study of design principles about the frames with infill wall has been occurred by Kaushik et al. (2006). The comprehensive studies on analytical modeling techniques of infilled frame structures was carried out by Crisafulli et al. (2000).

In the present study, the nonlinear analyzes are carried out by considering architectural plan of each RC structure to determine influence of infill wall having variable properties on the structural and earthquake behavior. The influence of infill walls having different compressive strength and variable thickness is examined on damage levels of load-carrying components and its impact on earthquake performance. The earthquake performance analysis of the RC structures are carried out by considering requirements of the Turkish Earthquake Code (TEC) (2007) and were analyzed by using the SAP2000 software program (CSI, 2002).

## 2. Single-strut model and plastic hinge model of infill wall

The single equivalent compressive diagonal strut assumption was used in the modeling of infill walls as show in Figure 1. Since attempts to model the behavior of building with the infill wall, theoretical findings and experimental observations have shown that a equivalent diagonal strut with mechanical properties and appropriate geometric can likely provide a solution to the uncertainties (Asteris et al., 2012).

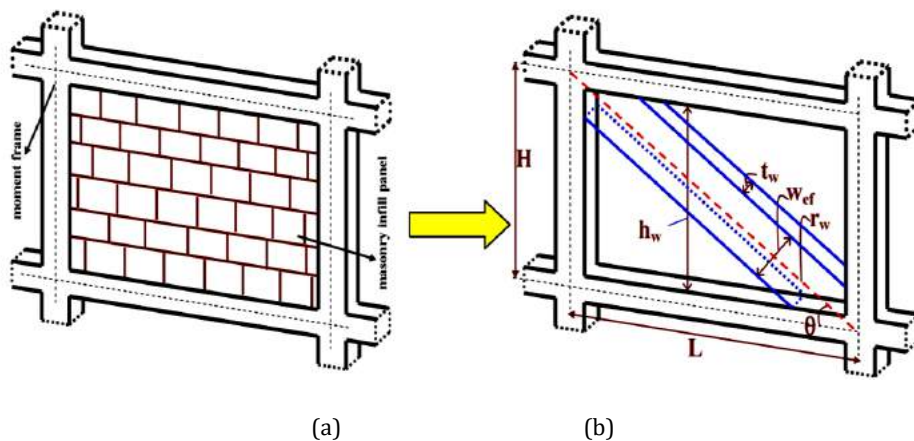


Figure 1: Modelling of infill wall as a diagonal struts

The width of infill wall ( $w_{ef}$ ), stiffness factor ( $\lambda_w$ ), elastic modulus of concrete ( $E_c$ ) and the masonry infill wall ( $E_m$ ) are considered by taken into account following equations as suggested in FEMA-356 (2000).

$$w_{ef} = 0.175(\lambda_w \cdot H)^{0.4} \cdot r_w \quad (1)$$

$$\lambda_w = \left( \frac{E_m t_w \sin 2\theta}{4E_c I_c h_w} \right) \quad (2)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{h_w}{L_w} \right) \quad (3)$$

$$E_c = 5000 \cdot f_{co}^{0.5} \quad (4)$$

$$E_m = 550 \cdot f_m \quad (5)$$

where H is height of story,  $t_w$  is thickness that considered as constant; 200 mm,  $\theta$  is angle of diagonal to horizontal in degrees is given in Eq. (3),  $h_w$  is height of wall, L is length of span of equivalent diagonal,  $f_{co}$  is the compressive strength of concrete in MPa. The  $f_m$  is the compressive strength of infill wall.

$$K_1 = \frac{G_w L_w t_w}{h_w} \quad (6)$$

$$K_2 = \frac{E_m a_w t_w}{r_w} \quad (7)$$

$$0.005 K_1 \leq K_3 \leq 0.1 K_1 \quad (8)$$

$$F_y = f_{tp} t_w L_w \quad (9)$$

$$S_y = \frac{F_y}{K_1} \quad (10)$$

$$F_m = 1.3 F_y, \quad 0 \leq F_r \leq 0.1 F_y \quad (11)$$

$$S_m = S_y + \frac{F_m - F_y}{K_2}, \quad S_r = S_m + \frac{F_m - F_r}{K_3} \quad (12)$$

where  $G_w$  is the shear modulus of the infill wall and is considered as equal to  $0.4E_m$  (Kakaletsis et al., 2011; Calerec et al., 2011; Uva et al., 2012). The yield load ( $F_y$ ) of the infill wall, the yield shortening ( $S_y$ ) of the infill wall, the maximum compression strength of the infill wall ( $F_m$ ) and the shortening ( $S_m$ ) at the  $F_m$  point and the axial shortening ( $S_r$ ) in case of mechanism were calculated by given equations.

The infill wall model of nonlinear behavior was defined by assigned axial load hinges on diagonal strut that features are defined (Panagiotakos & Fardis, 1996). The model is consist of three stages. The first state ( $K_1$ ) was defined (Fardis, 1996) the initial sliding behavior and the second stage ( $K_2$ ) shows the behavior of the infill wall after it has left the frame. The attenuation behavior of the infill wall was modelled at the last stage ( $K_3$ ) and was calculated given below. The force-displacement relation for the diagonal strut representing the infill wall is illustrated in Figure 2.

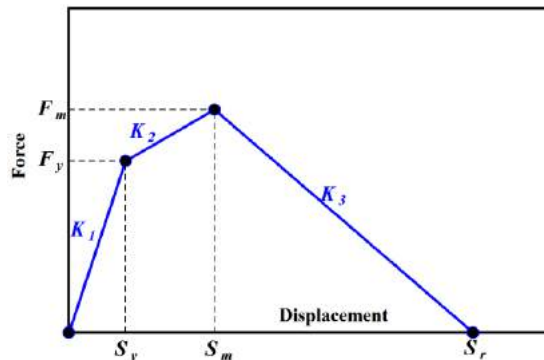


Figure 2: The force-displacement relationships of the compressive diagonal struts (Fardis, 1996)

### 3. Description of existing RC structures

The selected existing RC structures for analyzes have located in high-hazard zones in Turkey. The selected each existing RC structure are two variants of two, three, four and five-storey plane RC frame. The selected RC structures do not have a soft story, short columns, plan irregularities, vertical and plan irregularities of frames. The frames with infill wall and bare case of RC structures were modelled and analyzed with Sap2000 software program (CSI, 2002) by taken into account their architectural properties and project information. The structural behavior and earthquake performance of existing mid-rise RC structures were examined using nonlinear static procedure recommended by TEC (2007). The location of the infill walls in architectural plan was assigned for nonlinear analyzes. The some plans and 3D views of structures were given in Figure 3. In the modelling and the analyzes are also made for the bare-frame cases of RC structures to compare with behavior of infilled frames of them.

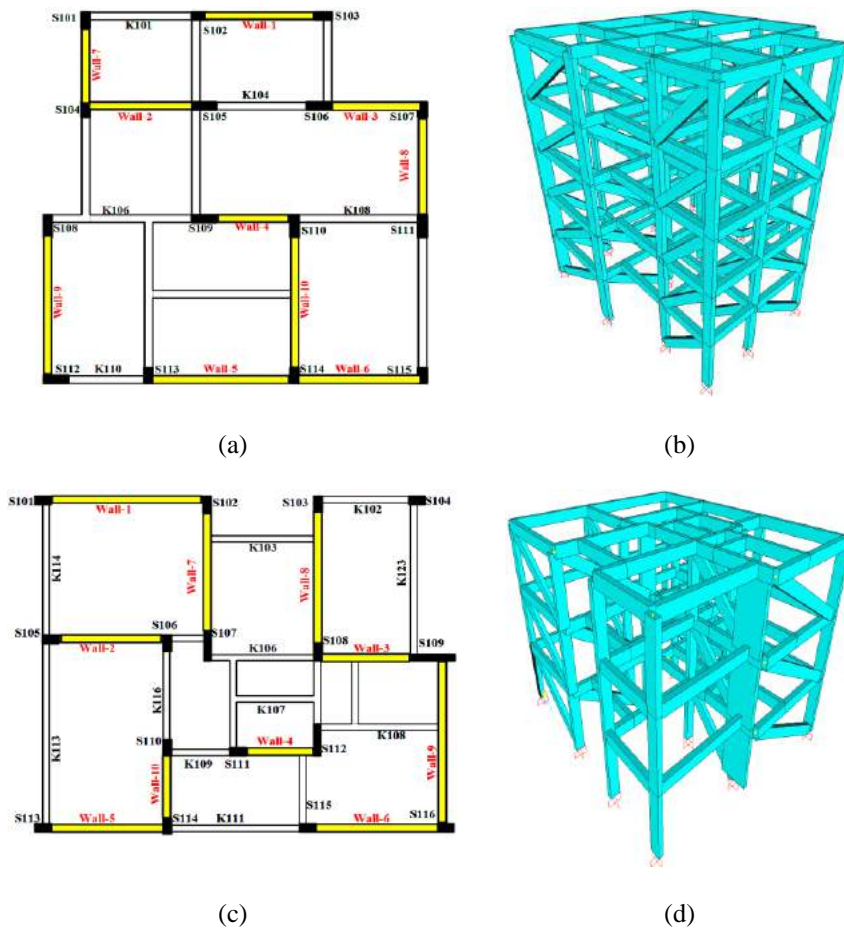


Figure 3: Plans and 3D views of some existing RC structures

### 4. Determination of analyzes parameters

In this study, the existing residential RC structures were modelled and analyzed according to different infill wall configurations that are walls having different value of compressive strength ( $f_m$ ) and thickness ( $t_w$ ). The nonlinear static analyses were occurred for different values of the  $f_m$  and  $t_w$  of the infill walls.

The influence of  $f_m$  and  $t_w$  were investigated structural behavior and earthquake performance of RC structures. In order to better evaluate the influence of mechanical properties of walls on the structural behavior, strength of the concrete and steel were chosen low in the analyzes. The mean compressive strength of the concrete amounts to 10 MPa and the mean yield strength of steel amounts 220 MPa, respectively. In the analyzes, the  $f_m$  values were considered as 2.1 MPa, 4.1 MPa and 6.2 MPa by a factor as specified as poor, fair, good of wall condition that this classification was chosen by recommended in FEMA-273 (1997). In addition, in order to better investigate the influence of these parameters,  $f_m = 14$  MPa value was also analyzed. The pushover analyses of existing RC structures was occurred according to each  $f_m$  values and each  $t_w$  values configurations. The configurations are given in Table 1. The case of the bare framed RC structures was encoded as Cs-0.



Table 1: The configurations of considered  $f_m$  and  $t_w$

Case (Cs)	Cs-1a	Cs-1b	Cs-1c	Cs-1d	Cs-2a	Cs-2b	Cs-2c	Cs-2d	Cs-3a	Cs-3b	Cs-3c	Cs-3d
$t_w$ (mm)	80	80	80	80	140	140	140	140	200	200	200	200
$f_m$ (MPa)	2	4	6	14	2	4	6	14	2	4	6	14

## 5. Analyzes results

The earthquake vulnerability assessment of RC structures can be largely determined accurately by determining the behavior under the seismic forces impacts. Therefore, pre-determination and evaluation of some important structural parameters about the provide sufficient database about the seismicity and safety of RC structures. Some of these parameters and possibly the most important ones are structure fundamental period, story displacements, damage levels of load-carrying elements and relationship of lateral load capacity and displacements. These parameters are important that are directly related to each other. In this study, the influence of the  $f_m$  and  $t_w$  on the structural parameters mentioned above is investigated by considering the analyzes results of different configurations of the  $f_m$  and  $t_w$  values.

The fundamental period of RC structure is an significant factor that contains many structural properties and it is directly related to rigidity of the RC structure. In the earthquake assessment, seismic demand of the structure is determined according to fundamental period. It is also know that the infill wall has an important state among the parameters affecting the rigidity of the structure. The results from the analyzes, the influence of the  $f_m$  and  $t_w$  changes on the period and target displacement can be observed for selected RC structures in Table 2 and Table 3, respectively.

It is know that fundamental period of structures directly influences the target displacement level. In the analyzes, the effect of the compressive strength of the wall is greater than the effect of weight on fundamental period of structures. However, when the thickness of the infill wall increases, the weight of the structure will increase. Therefore, it is not possible to directly express the effect of the parameter  $f_m$  and  $t_w$  on the structure safety over the period. It is clear that the increase the target displacement causes the roof drift differences between storey levels. Therefore, it is usual to expect an increase in the damage levels of load-carrying elements. When the values given in Table 3 are evaluated, it is seen that increase both  $f_m$  and  $t_w$  values of the infill wall affect the fundamental period and target displacement, positively. However, it is clear that compressive strength is slightly more effective that the thickness of infill wall factor.

The storey displacement or relative drift ratio occurring at the story levels of the structures under the earthquake loads are the most effective factor determining the damage levels of the structural load-carrying elements of the RC structure. Therefore, the relative drift and displacement changes along the height of the RC structures is a important way of the demonstrating the behavior of the load-carrying components in each storey. The relative drift were displayed in Figure 4 for each storey level of the RC structures. In cases where the thickness of infill wall is constant, it is seen in Figure 4 that the compressive strength varies. In addition, the influence of the thickness of infill wall change on the relative drift between the storey levels is given in Figure 5.

The relative drift ratios of each storey level of RC structures corresponding to the determined target displacement were obtained by the results of the pushover analyzes. The influence of relative drift ratio on each parameter appears to be significant while compressive strength and thickness of the infill wall are compares with each other. This influence is more clearly seen on the first story of the RC structures. Accordingly, it is seen that the damages to occur due to storey drift in RC structures under lateral loads are formed in the load-carrying components located on the first storey level.

To determine the earthquake behavior and performance of RC structures, the damage state of columns and beams under the impact of the lateral loads is obtained from seismic analyzes results. Three damage states are defined in TEC (2007) as minimum damage limit (MN), safety limit (SL) and collapse limit (CL) for load-carrying element. When the Figure 4 and 5 are examined, it is quite normal to occur differences in the damage levels of columns and beams element due to the relative drift ratio differences. Therefore, the earthquake performance of RC structures has changed as a results of the analyzes according to the mechanical properties of infill walls considered. The column and beams damage are given in Table 4 for merely one direction (-x) of 4-storey existing RC structures.

Table 2: The cracked fundamental period of RC structures

ID/n→	TRZ/2		ANF/3		ISR/4		STS/5	
	T (s)		T (s)		T (s)		T (s)	
Cases	T(X)	T(Y)	T(X)	T(Y)	T(X)	T(Y)	T(X)	T(Y)
Cs-0	0.514	0.529	0.787	0.674	0.916	0.899	0.814	0.903
Cs-1a	0.381	0.409	0.601	0.452	0.769	0.748	0.712	0.789
Cs-1b	0.379	0.405	0.584	0.448	0.752	0.734	0.689	0.782
Cs-1c	0.355	0.376	0.561	0.435	0.723	0.702	0.68	0.76
Cs-1d	0.316	0.332	0.526	0.419	0.673	0.651	0.639	0.726
Cs-2a	0.367	0.371	0.589	0.434	0.729	0.701	0.692	0.773
Cs-2b	0.349	0.369	0.578	0.43	0.711	0.684	0.673	0.758
Cs-2c	0.322	0.348	0.552	0.421	0.684	0.649	0.641	0.741
Cs-2d	0.287	0.299	0.519	0.399	0.626	0.601	0.561	0.689
Cs-3a	0.335	0.358	0.567	0.429	0.695	0.669	0.648	0.749
Cs-3b	0.311	0.336	0.558	0.424	0.674	0.638	0.639	0.727
Cs-3c	0.299	0.311	0.532	0.412	0.629	0.621	0.596	0.695
Cs-3d	0.261	0.271	0.485	0.387	0.559	0.537	0.55	0.639

Table 3: The target displacement of RC structures

ID/n→	TRZ/2		ANF/3		ISR/4		STS/5	
	dep (m)		dep (m)		dep (m)		dep (m)	
Cases	depX	depY	depX	depY	depX	depY	depX	depY
Cs-0	0.092	0.112	0.219	0.174	0.271	0.241	0.231	0.264
Cs-1a	0.058	0.073	0.154	0.105	0.214	0.193	0.199	0.23
Cs-1b	0.052	0.066	0.151	0.1	0.195	0.184	0.186	0.222
Cs-1c	0.038	0.042	0.142	0.093	0.183	0.177	0.179	0.215
Cs-1d	0.026	0.031	0.127	0.081	0.169	0.164	0.161	0.201
Cs-2a	0.054	0.061	0.142	0.102	0.198	0.179	0.172	0.216
Cs-2b	0.039	0.045	0.138	0.098	0.189	0.166	0.169	0.208
Cs-2c	0.034	0.041	0.125	0.085	0.176	0.159	0.158	0.202
Cs-2d	0.024	0.036	0.103	0.072	0.152	0.147	0.146	0.186
Cs-3a	0.049	0.058	0.134	0.097	0.183	0.164	0.166	0.209
Cs-3b	0.034	0.039	0.129	0.092	0.172	0.159	0.157	0.202
Cs-3c	0.029	0.035	0.114	0.081	0.158	0.144	0.149	0.189
Cs-3d	0.021	0.026	0.091	0.064	0.135	0.126	0.139	0.174

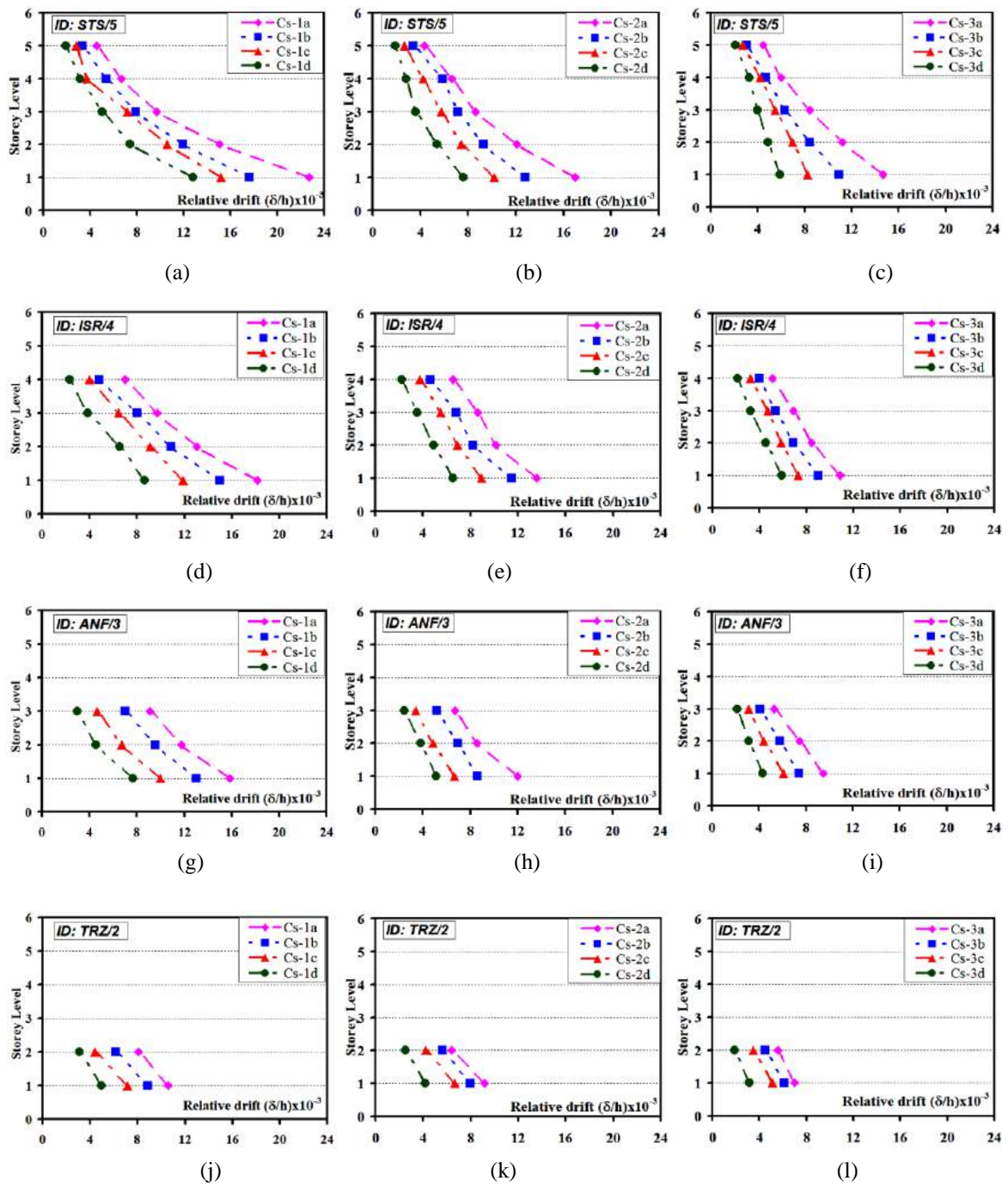


Figure 4: The influence of compressive strength of infill walls on relative drift ratio

Table 4: The column and beams damage levels for ISR/4

**ID: ISR/4**  
**Area of floor : 122 m<sup>2</sup>**  
**Number of stories : 4**

	Cs-0	Cs-1a	Cs-1b	Cs-1c	Cs-1d	Cs-2a	Cs-2b	Cs-2c	Cs-2d	Cs-3a	Cs-3b	Cs-3c	Cs-3d
S101 (60x25)	CL	SL	SL	MN	MN	SL	MN	MN	-	SL	MN	MN	-
S102 (25x60)	CL	CL	CL	SL	SL	CL	CL	SL	SL	CL	CL	MN	MN
S103 (25x60)	CL	CL	CL	SL	SL	CL	SL	SL	MN	SL	SL	SL	MN
S104 (60x25)	CL	SL	SL	SL	MN	SL	MN	MN	MN	MN	MN	MN	-
S105 (60x25)	CL	SL	SL	SL	MN	SL	SL	MN	-	SL	SL	MN	-
S106 (25x60)	CL	CL	CL	SL	SL	CL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	MN
S107 (25x60)	CL	CL	CL	SL	SL	CL	CL	SL	SL	SL	SL	MN	MN
S108 (60x25)	CL	SL	SL	MN	MN	SL	SL	MN	MN	SL	SL	MN	MN
S109 (60x25)	CL	CL	CL	SL	MN	SL	SL	MN	-	SL	MN	MN	-
S110 (25x60)	CL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	MN	MN
S111 (25x60)	CL	SL	SL	SL	MN	SL	SL	SL	MN	SL	SL	SL	MN
S112 (60x25)	CL	CL	SL	SL	MN	SL	MN	MN	MN	SL	MN	MN	-
K101 (25x50)	SL	SL	SL	SL	MN	SL	SL	SL	MN	SL	SL	SL	MN
K102 (25x50)	CL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL
K103 (25x50)	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	MN	SL	SL	SL	MN
K104 (25x50)	CL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL
K105 (25x50)	CL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL
K106 (25x50)	CL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL
K107 (25x50)	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL
K108 (25x50)	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	MN	SL	SL	SL	MN
K109 (25x50)	CL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL
K110 (25x50)	SL	SL	SL	SL	MN	SL	SL	SL	MN	SL	SL	SL	MN

The lateral load bearing capacities of the existing RC structures are determined by the static pushover analysis that is a nonlinear static analysis under dead and live loads of the structures and under incremental lateral loads. The distribution of the lateral loads is practically the same for bare frame case and infilled frames cases. The pushover curves of existing 2, 3, 4 and 5-storey existing RC structures with infill wall having different  $f_m$  and  $t_w$  values are presented in Figure 5 and 6.

It can be clearly stated that the presence of infill wall strongly decreases the vulnerability of RC structures. Especially, the contribution of the infill wall and its thickness to lateral load bearing capacity of the RC structures can be observed from given Figure 6, clearly. As can be seen from Figure 7, the presence of infill wall appears to have not contributed to the earthquake performance of the RC structures in rare cases. It can be observed clearly that, even though the infill wall contribute significantly to the lateral load bearing of RC structures, the same influence cannot be seen on the ductility of structures. However, in most cases, the contribution of the infill walls to provide of the target earthquake performance of RC structures is observed in Figure 7.

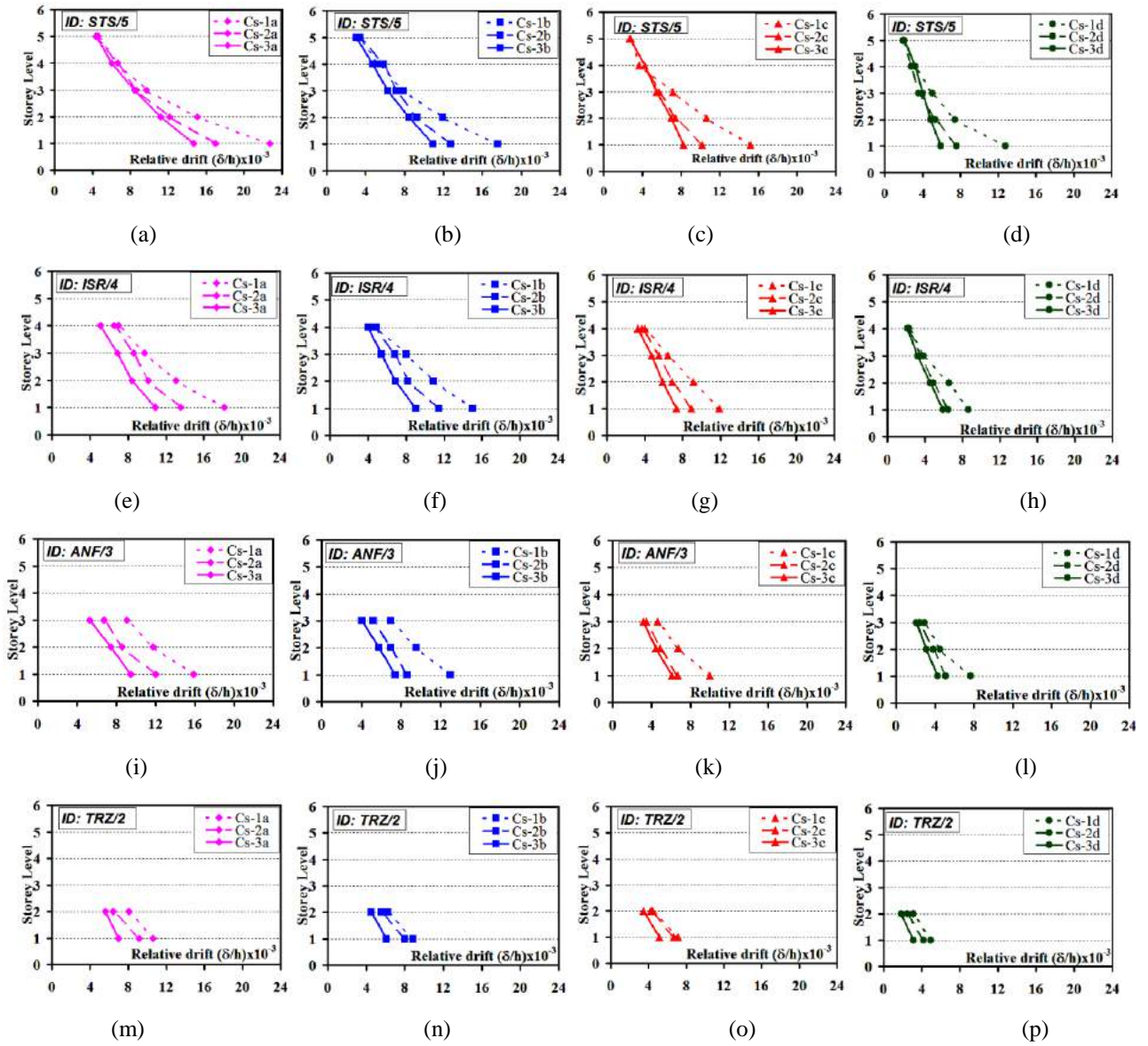


Figure 5: The influence of thickness of infill walls on relative drift ratio



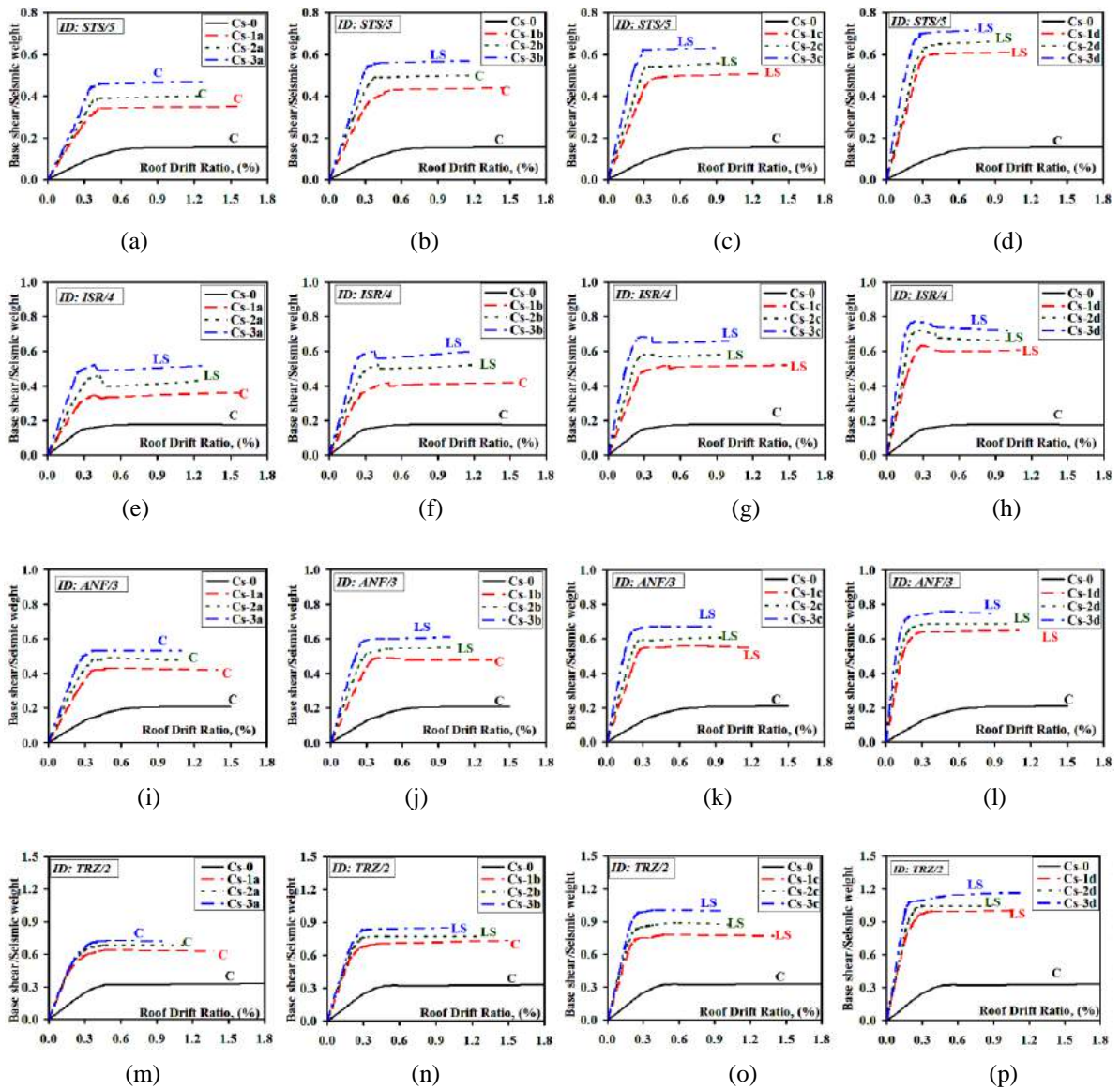


Figure 6: The influence of thickness of infill wall on capacity curves of RC structures

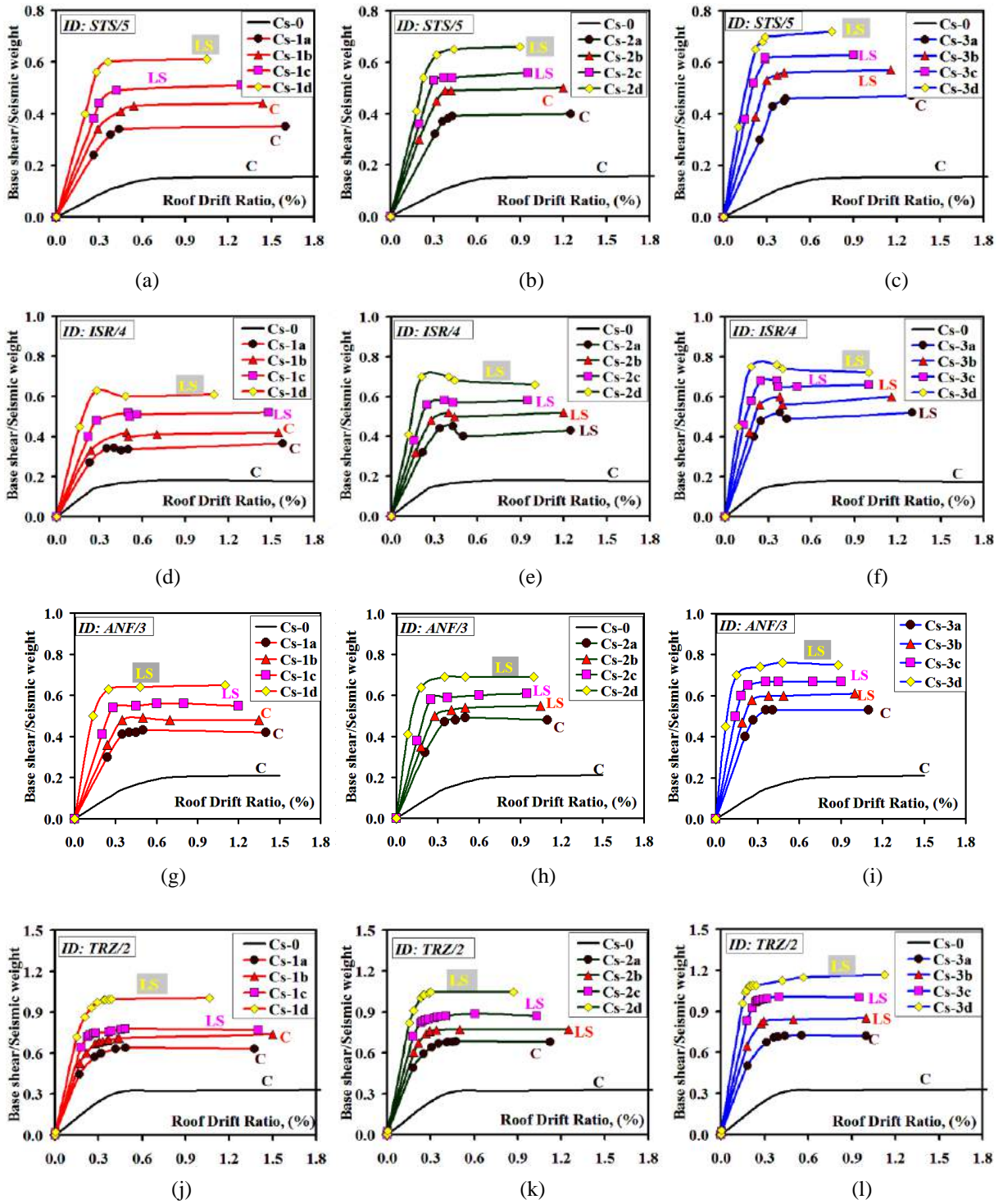


Figure 7: The influence of compressive strength of infill wall on capacity curves of RC structures

As is known that the concrete and steel strengths of the RC elements is highly effective on the structural behavior of RC structures. In the analyzes, the material strengths are selected 10 MPa for concrete, 220 MPa for steel. The aim of selecting low material strength is to examine the influence of compressive strength and thickness of infill wall on structural behavior and earthquake performance. When the Cs-0 case is examined, it is seen that the RC structures do not meet the LS performance level. It is possible to observe that if the strength of material of the RC elements is chosen at the minimum strength level recommended by the TEC (2007), it is most likely provide the LS target performance level of all infilled frames with the infill wall.

In addition, some structural results obtained from the analysis of the existing RC buildings are given in Table 5 and Table 6 for the all cases.

Table 5: Comparison of earthquake performance of existing RC structures according to  $f_m$  values

ID	Perf. Level	Cases												
		Cs-0	Cs-1a	Cs-1b	Cs-1c	Cs-1d	Cs-2a	Cs-2b	Cs-2c	Cs-2d	Cs-3a	Cs-3b	Cs-3c	Cs-3d
TRZ/2	LS	-	-	-	✓	✓	-	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓
	C	✓	✓	✓	-	-	✓	-	-	-	✓	-	-	-
ANF/3	LS	-	-	-	✓	✓	-	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓
	C	✓	✓	✓	-	-	✓	-	-	-	✓	-	-	-
ISR/4	LS	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	C	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STS/5	LS	-	-	-	✓	✓	-	-	✓	✓	-	✓	✓	✓
	C	✓	✓	✓	-	-	✓	✓	-	-	✓	-	-	-

Table 6: Comparison of earthquake performance of existing RC structures according to  $t_w$  values

ID	Perf. Level	Cases											
		Cs-1a	Cs-2a	Cs-3a	Cs-1b	Cs-2b	Cs-3b	Cs-1c	Cs-2c	Cs-3c	Cs-1d	Cs-2d	Cs-3d
TRZ/2	LS	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	C	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-
ANF/3	LS	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	C	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-
ISR/4	LS	-	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	C	✓	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	-
STS/5	LS	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	C	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-

## 6. Conclusion

In the scope of the study, the influence of the infill walls having variable value of compressive strength and thickness on the structural behavior and earthquake safety is investigated. For this reason, the type of residential RC structures having different number of stories and structural properties are selected by considering the architecture plans of them. The nonlinear analyzes of the existing RC structures are performed according to the principle of nonlinear elastic method determined by the TEC (2007). The results obtained are summarized below:

The analytical results indicated that presence of infill walls in the RC structure significantly increase the lateral load-carrying capacity of the RC structure. As the thickness or compressive strength of infill walls increases, the value of fundamental period and the target displacement of RC structures decreases.

The increase in compressive strength of infill wall contribute to lateral load-carrying capacity of RC structures is more than the increase in the its thickness. It is understood that load-carrying element of the structures directly affect the earthquake damageability. In additional, the interaction between bare-frame and infilled frame with the wall can lead to a remarkable change in the of the shear force in the load-carrying component. It was observed that the presence of infill wall is very effective on the lateral load-carrying capacity of the existing RC structures.

The column damage in the first story of RC structures according to the nonlinear methods was obtained as "CL" for selected all RC structures by considering the Cs-0. However, ends of columns and beams damage levels varies depending on condition of

thickness or compressive strength of infill wall. Thus, when the contribution of the infill walls to rigidity of the RC structures is considered, it is observed that the damage levels of the columns and beams is decreased.

The compressive strength and thickness of the infill wall were found to be an effective factor in structural behavior and performance of RC structures. In addition, according to the results of the analysis it is understood that the compressive strength of infill wall is more effective parameter than the thickness of wall.

In the analyzes, the earthquake performance levels of bare-framed existing RC structures are obtained as "C" level. However, The performance levels of most of the infilled RC structures are determined as "LS" level. In the case of Cs-1a, Cs-2a and Cs-3a, the performance levels of the existing RC structures could not be obtained as "LS" level. The most important reason of this is the low strength of the concrete and steel considered in the analyzes.

The effect of the compressive strength of the wall is greater than the effect of weight on fundamental period of structures. However, when the thickness of the infill wall increases, the weight of the structure will increase. Therefore, it is not possible to directly express the effect of the parameter  $f_m$  and  $t_w$  on the structure safety over the period. The period decrease caused by the increase in stiffness compensates for the more limited period increase brought about by the weight increase.

It is recommended that the thickness of the infill wall should not be less than 80 mm and the wall strength should not be less than 6 MPA in terms of earthquake safety in the new low-rise residential buildings.

Consequently, in the architectural and engineering design of RC structures, it is observed that the choice of appropriate filling material of wall, proper construction and appropriate location of the infill wall contribute positively to the structural behavior and earthquake performance of RC structures.

## References

- Asteris, P. G., Giannopoulos, I. P., & Chrysostomou, C. Z. (2012). Modeling of infilled frames with openings. *The Open Construction and Building Technology Journal*, 6(1), 81-91.
- Bas, S., Lee, J. H., Sevinc, M., & Kalkan, I. (2017). Seismic performance of R/C structures under vertical ground motion. *Computers and Concrete*, 20(4), 369-380.
- Benavent-Climent, A., Ramírez-Márquez, A., & Pujol, S. (2018). Seismic strengthening of low-rise reinforced concrete frame structures with masonry infill walls: shaking-table test. *Engineering structures*, 165, 142-151.
- Bertero, V., & Brokken, S. (1983). Infills in seismic resistant building. *Journal of Structural Engineering*, 109(6), 1337-1361.
- Celarec, D., Ricci, P., & Dolšek, M. (2012). The sensitivity of seismic response parameters to the uncertain modelling variables of masonry-infilled reinforced concrete frames. *Engineering Structures*, 35, 165-177.
- Chrysostomou, C. Z., & Asteris, P. G. (2012). On the in-plane properties and capacities of infilled frames. *Engineering Structures*, 41, 385-402.
- Crisafulli, F. J., Carr, A. J., & Park, R. (2000). Analytical modelling of infilled frame structures—a general review. *Bulletin-New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 33(1), 30-47.
- CSI, SAP 2000. *Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Reference Manual*. Berkeley, California, USA, 2002.
- Dilmaç H, Demir F. (2019, 17-20 April). Effect of mechanical features of masonry infill walls on the seismic behavior & performance of RC buildings. *International Civil Engineering and Architecture Conference*, Trabzon, Turkey.
- Dilmaç, H., Ulutaş, H., Tekeli, H., & Demir, F. (2018). An Evaluation on Seismic Performance of Existing Reinforced Concrete Buildings in Turkey. *The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University*, 9(Ek (Suppl.) 1), 224-237.
- Dilmac, H., Ulutas, H., Tekeli, H., & Demir, F. (2018). The investigation of seismic performance of existing RC buildings with and without infill walls. *Computers and Concrete*, 22(5), 439-447.
- Dolšek, M., & Fajfar, P. (2008). The effect of masonry infills on the seismic response of a four-storey reinforced concrete frame—a deterministic assessment. *Engineering Structures*, 30(7), 1991-2001.
- Fardis MN, editor. *Experimental and numerical investigations on the seismic response of the RC infilled frames and recommendations for code provisions*. ECOEST/PREC 8, Rep. No. 6. LNEC. Lisbon; 1996.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA 273). "NEHRP Guidelines For The Seismic Rehabilitation of Buildings". Developed by the Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., USA, 1997.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA-356). "Prestandard and Commentary For Seismic Rehabilitation of Buildings", Washington, D.C., 2000.
- Furtado, A., Rodrigues, H., Arêde, A., & Varum, H. (2016). Experimental evaluation of out-of-plane capacity of masonry infill walls. *Engineering Structures*, 111, 48-63.
- Hermanns, L., Fraile, A., Alarcón, E., & Álvarez, R. (2014). Performance of buildings with masonry infill walls during the 2011 Lorca earthquake. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 12(5), 1977-1997.
- Kaçım S. *The Effect of Infill Wall Properties on the R.C. Buildings Performance*. M.Sc. Dissertation, Suleyman Demirel University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Isparta, Turkey, 2017.
- Kakaletsis, D. J., Karayannis, C. G., & Panagopoulos, G. K. (2011). Effectiveness of rectangular spiral shear reinforcement on infilled R/C frames under cyclic loading. *Journal of Earthquake Engineering*, 15(8), 1178-1193.
- Kareem, K. M., & Güneyisi, E. M. (2019). Effect of masonry infill wall configuration and modelling approach on the behaviour of RC frame structures. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44(5), 4309-4324.



- Kaushik, H. B., Rai, D. C., & Jain, S. K. (2006). Code Approaches to Seismic Design of Masonry-Infilled Reinforced Concrete Frames: A State-of-the-Art Review. *Earthquake Spectra*, 22(4), 961-983.
- Klingner, R. E., & Bertero, V. V. (1978). Earthquake resistance of infilled frames. *Journal of the structural division*, 104(6), 973-989.
- Korkmaz, K. A., Demir, F., & Yenice, T. (2015). Earthquake performance investigation of R/C residential buildings in Turkey. *Computers and Concrete*, 15(6), 921-933.
- Madan, A., Reinhorn, A. M., Mander, J. B., & Valles, R. E. (1997). Modeling of masonry infill panels for structural analysis. *Journal of structural engineering*, 123(10), 1295-1302.
- Mander, J. B., & Nair, B. (1993). Seismic performance of brick-infilled steel frames with and without retrofit. In NCEER Bulletin (Vol. 7, No. 3, pp. 13-7). US National Center for Earthquake Engineering Research (NCEER).
- Merter, O., Ucar, T., & Duzgun, M. (2017). Determination of earthquake safety of RC frame structures using an energy-based approach. *Computers and Concrete*, 19(6), 689-699.
- Ministry of Public Works and Resettlement. TEC (Turkish Earthquake Code). "Specification for Structures to be Built in Disaster Areas". Ankara, Turkey, 2007.
- Madan, A., Reinhorn, A. M., Mander, J. B., & Valles, R. E. (1997). Modeling of masonry infill panels for structural analysis. *Journal of structural engineering*, 123(10), 1295-1302.
- Nollet, M. J., & Smith, B. S. (1998). Stiffened-story wall-frame tall building structure. *Computers & structures*, 66(2-3), 225-240.
- Panagiotakos TB, Fardis MN. "Seismic response of infilled RC frames structures". In: 11th world conference on earthquake engineering, No.225, 1996.
- Peng C, Guner S. "Direct Displacement-Based Seismic Assessment of Concrete Frames". *Computers and Concrete*, 21(4), 355- 365, 2018.
- Penna, A., Morandi, P., Rota, M., Manzini, C. F., Da Porto, F., & Magenes, G. (2014). Performance of masonry buildings during the Emilia 2012 earthquake. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 12(5), 2255-2273.
- Perera R. "Performance evaluation of masonry-infilled RC frames under cyclic loading based on damage mechanics", *Engineering Structures*, 27(8), 1278-1288, 2005.
- Pujol, S., & Fick, D. (2010). The test of a full-scale three-story RC structure with masonry infill walls. *Engineering Structures*, 32(10), 3112-3121.
- Reinhorn, A. M. (1997). Inelastic analysis techniques in seismic evaluations. *Seismic design methodologies for the next generation of performance based seismic engineering of codes*, 277-287.
- Ricci, P., Verderame, G. M., & Manfredi, G. (2011). Analytical investigation of elastic period of infilled RC MRF buildings. *Engineering structures*, 33(2), 308-319.
- Sahota, M. K., & Riddington, J. R. (2001). Experimental investigation into using lead to reduce vertical load transfer in infilled frames. *Engineering Structures*, 23(1), 94-101.
- Samoilă, D. M. (2012). Analytical modelling of masonry infills. *Moment*, 1000, 2.
- Sattar, S., & Liel, A. B. (2016). Seismic performance of nonductile reinforced concrete frames with masonry infill walls—I: development of a strut model enhanced by finite element models. *Earthquake Spectra*, 32(2), 795-818.
- Sattar S, Liel AB. (2010, July). Seismic Performance of Reinforced Concrete Frame Structures With and Without Masonry Infill Walls. *Proceedings of the 9th US National and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering*.
- Tekeli H, Aydın A. "An Experimental Study on the Seismic Behavior of Infilled RC Frames With Opening". *Scientia Iranica*, 24(5), 2271-2282, 2017.
- Uva, G., Raffaele, D., Porco, F., & Fiore, A. (2012). On the role of equivalent strut models in the seismic assessment of infilled RC buildings. *Engineering Structures*, 42, 83-94.





# Combined Utilization of KMnO<sub>4</sub> Modified Starch Particles with Glycerol as De-Icer

Deniz Emre<sup>1</sup>, Yunus Emre Simsek<sup>2</sup>, Levent Degirmenci<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Bilecik Seyh Edebali University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, , Bilecik, Turkey, ORCID: 0000-0002-6999-677X

<sup>2</sup>Bilecik Seyh Edebali University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, , Bilecik, Turkey, ORCID: 0000-0001-6722-2052

<sup>3\*</sup>Bilecik Seyh Edebali University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, , Bilecik, Turkey, ORCID: 0000-0001-6608-0398.

(First received 7 August 2019 and in final form 27 September 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.603435)

**ATIF/REFERENCE:** Emre, D., Simsek, Y. E. & Degirmenci, L. (2019). Combined Utilization of KMnO<sub>4</sub> Modified Starch Particles with Glycerol as De-Icer. *European Journal of Science and Technology*, (17), 190-197.

## Öz

Nişasta ile modifiye edilmiş KMnO<sub>4</sub> (MS partikülü) ile gliserin çözeltisinden oluşan biyobozunur bir buz çözücü sistemi sunulan çalışma ile önerilmiş ve test edilmiştir. Deneyler değişen KMnO<sub>4</sub> (10, 15, 25%), MS partikül, gliserin % (20, 40, 60) ve çözücü miktarları (3, 6, 12 ml) ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın temel hedefi gliserin ve KMnO<sub>4</sub> arasında ufak çaplı ekzotermik bir reaksiyonu tetiklemek ve reaksiyon sonucu açığa çıkan ısı ile buzun erimesini hızlandırmaktır. Denemeler iki gruba ayrılmıştır. İlk olarak en yüksek sıcaklık artışını sağlayan en iyi koşullar istatistiksel olarak belirlenmiş ve buradan elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ile buz çözme denemeleri gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel analizler KMnO<sub>4</sub> ve MS partikül miktarlarının erime zamanının azaltılmasında birinci derecede rol aldığını göstermiştir. MS partikülleri ile gerçekleştirilen buz çözme denemelerinde kontrol sistemlerine göre erime zamanında azalmalar görülmüştür. Bu sonuç geleneksel gliserin bazlı buz çözücülere göre önerilen sistemin üstünlüğünü göstermektedir. MS partiküllerinin tekrarlı kullanımlarında erime zamanının kademeleri olarak azalması çalışmanın en önemli sonucudur. Partiküllerin tekrarlı kullanımlarında artan bir performans sağlanması kayda değerdir. Sonuçlar aynı zamanda partiküllerin ekonomik olarak üretilebileceklerini göstermesi açısından da önem taşımaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Nişasta, KMnO<sub>4</sub>, Buz çözücü, gliserol, MS partikülü

## Abstract

An alternative de-icer system consisted of biodegradable starch-modified KMnO<sub>4</sub> (MS), and glycerol solution was proposed and tested with the present study. Experiments were performed with varying KMnO<sub>4</sub> (10, 15, 25%) percentages, MS particle (0.06, 0.12, 0.24 g), glycerol (20, 40, 60%) and solution amounts (3, 6, 12 ml). The main idea was to induce a miniscule exothermic reaction between glycerol and KMnO<sub>4</sub> to enhance the melting of ice via heat release. The experiments were divided into two groups. Initially, the best conditions to yield the highest temperature increase was statistically determined, and de-icing experiments were conducted based on the interpretation of these results. Statistical analyses showed that the amount of KMnO<sub>4</sub> and MS had merely been responsible for maintaining an effective decrease in melting time. De-icing experiments conducted in the presence of MS particles indicated a decrease in melting time compared to control systems. This result indicated superior performance of the proposed system over traditional glycerol based de-icers. The higher decrease in melting time was observed in the presence of spent MS particles indicating their repetitive use and economically sound production.

**Keywords:** Starch, KMnO<sub>4</sub>, de-icer, glycerol, MS particle

\*Sorumlu yazar: Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, Bilecik Seyh Edebali University, Bilecik, Turkey, ORCID: 0000-0001-6608-0398, [levent.degirmenci@bilecik.edu.tr](mailto:levent.degirmenci@bilecik.edu.tr).

## 1. Introduction

De-icer chemicals are frequently used in regions receiving high amounts of snow, and they are inevitable in maintaining the progress of daily life in winter. Various chemicals are used as de-icers based on the area of application. Glycerol is the main component of de-icer fluids used in aircraft and airport ground surfaces besides ethylene glycol (EG), propylene glycol (PG) and diethylene glycol which are among the significant chemicals in current use (Murphy *et al.*, 2015). Bioaccumulation of these chemicals is not a problem as they can be degraded in relatively short time intervals. However, the problem is the increase in their population associated requirement, which results in very high chemical oxygen demand during their removal via degradation.

A separate discharge system is needed for the removal of glycerol and mentioned chemicals since the direct discharge of these chemicals will create additional problems in wastewater management (Murphy *et al.*, 2015). On-site recycling and treatment of these wastes apart from wastewater are currently conducted by many airports located in Canada, United Kingdom, United States, Germany and Switzerland (Murphy *et al.*, 2015; Johnson, 2012). Glycerol substitution is not possible as this chemical is already produced in large amounts as a side product in biodiesel production. The increasing utilization of glycerol is crucial to maintain an economically feasible biodiesel production (Simsek *et al.*, 2016).

Besides the ones used in aircraft, a separate group of de-icer chemicals is currently being used in road de-icing. Sodium chloride, calcium chloride, and calcium acetate in solid form are used in vast amounts on the roads. Their use causes a high economic burden due to the increasing demand for material, equipment, and labour. These chemicals remain for long times on the road, and they have negative impacts on the bridges and other infrastructures (Ozgan *et al.*, 2013). However, the major problem associated with their use is considered to be environmental rather than economic. Their harmful impacts on roadside vegetation and aquatic organisms have widely been investigated by various authors (Durickovic *et al.*, 2012; Mahros *et al.*, 2017; Hintz and Relyea, 2017). Sodium chloride (NaCl) released during snow-melt has adverse effects on the growth and swim-up of Atlantic salmon, and it has also shown that their mortality increased in the presence of high salt concentrations (Mahros *et al.*, 2017). The growth ratios of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) exposed to  $MgCl_2$ , NaCl, and  $CaCl_2$  were also investigated, and the results confirmed the decrease in growth of rainbow trout in the presence of NaCl and  $CaCl_2$  in high concentrations (Hintz and Relyea, 2017). The direct and indirect effects of NaCl and the mixture of NaCl, KCl,  $MgCl_2$  salts on freshwater organisms were shown in another study (Jones *et al.*, 2017). In a study by Jones *et al.*, (Jones *et al.*, 2017) in the freshwater source containing periphyton, phytoplankton, zooplankton, American toads (*Anaxyrus americanus*) and wood frogs (*Lithobates sylvaticus*) a high NaCl (780 mg  $Cl^{-1}/L$ ) concentration caused a marked decrease in the survival of wood frogs before and during metamorphosis and toad activity. Another study on living ecosystem also report a decline in urban trees as a result of the salt application in de-icing. The decrease was said to be due to the gradual increase of pH and electron conductivity of the soils located close to roads (Equizaa *et al.*, 2017). Apart from the effects on land, these salts, especially sodium chloride, also affect the concentration of particulate matter in the atmosphere via suspension after drying of the road surface. Studies indicated that the contribution of salts as particulate matter concentration to atmosphere had similar values with particulate matter concentration during winter (Denby *et al.*, 2016).

Literature studies indicate that chlorine content is mainly responsible for the harm done to the environment and therefore over years an increasing amount of investigations has been focused on producing alternative chlorine free de-icers (Yang and Montgomery, 2003; Fu and Mathews, 2005; Jin *et al.*, 2010; Oh *et al.*, 2017). Corn steep water, a by-product of corn wet milling, was utilized as a reactant to get biodegradable organic salts, and the advantage of this de-icer solution was stated to be free of chloride or inorganic acid salts used in production (Yang and Montgomery, 2003). Calcium combined with magnesium acetate (CMA) was used as road de-icer in another study. Fu and Mathews (Fu and Mathews, 2005) proposed an alternative and economic pathway for CMA production by fermentation and extraction of cheese whey instead of the current process conducted by the reaction of glacial acetic acid and limestone. Acetic acid utilized in calcium acetate production can be obtained from vegetable wastes by a two-step process. The produced acetic acid can be separated and purified by electro dialysis and reverse osmosis (Jin *et al.*, 2010). Biomass utilization to produce CMA as precursor was extensively investigated by the pyrolysis of corncob, palm kernel shell, and radiate pine to yield bio-oil at 430°C. CMA production was achieved by the reaction of acetic acid fractions obtained from their distillation and natural and calcined dolomite. The results indicated that calcined dolomite was better reactant than natural dolomite in CMA production (Oh *et al.*, 2017).

In the present study, an eco-friendly salt-based de-icer is proposed. The authors developed a de-icer containing two ingredients. The first ingredient was solid obtained by modification of starch with  $KMnO_4$  addition (MS particles). The de-icing effect was achieved by the reaction of these MS particles with a glycerol solution, the second ingredient of de-icer. Our approach towards de-icer production is somewhat different from those in literature. Based on the literature survey, it was our understanding that the materials used in de-icing were meant to decrease the freezing point of the surface of utilization and prevent the formation of ice on the structure. However, starting a minuscule chemical reaction on the surface of the ice with a combination of right components was not studied based on our investigations. The main idea is to create a highly exothermic reaction on the surface of the ice enabling the acceleration of its melting via temperature increase and preventing the reappearance of ice due to the heat released during reaction for a specified period. Synthesis of starch modified with  $KMnO_4$  was initially conducted to reach this goal, and glycerol solution in varying concentrations was added to this material to initiate oxidation reaction. Usually the oxidation of  $KMnO_4$  in high amounts with glycerol results in the fire with the ash,  $CO_2$  and  $H_2O$  formed during the process. However, the authors reacted solutions of glycerol with low quantities of  $KMnO_4$  to prevent this type of incident but enable consumption of glycerol at the same time. The authors maintain that the harm emanated from chlorine deposition in nature could be reduced by the future application of this alternative de-icing system.

Starch is a well-known biodegradable and nontoxic polymer which exists in nature. The main advantage of this polymer is the ease of fabrication with the addition of various components (Namazi and Dadkhah, 2010). It has many applications depending on the use and treatment process (Bai *et al.*, 2013; Poorgholya *et al.*, 2017; Sarka and Dvoracek, 2017; Zhu, 2017). In de-icer applications, organic acids produced by hydrolysis of starch is further reacted with carbonate salts to produce de-icers (Jin *et al.*, 2010; Ganjal *et al.*, 2007; Huo *et al.*, 2005). Starch use as support material in a de-icing system was not previously investigated based on our literature survey, and an alternative method of starch as a de-icing component was introduced with the present study.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Synthesis of Starch Modified with KMnO<sub>4</sub>

Synthesis of starch modified with KMnO<sub>4</sub> (MS) was the initial step of the study. A modified (Bai *et al.*, 2013) procedure was developed for synthesis. The steps were given below:

- 1 g of soluble extra pure starch (Merck) and varying amounts of (% 10, 15 and 25% of starch) KMnO<sub>4</sub> (Merck) was mixed with 20 ml of deionized water and homogenized at 5000 rpm for 1 minute.
- The solution was heated at 80°C for 1 hour. The temperature of the solution was kept constant by using a reflux condenser.
- The obtained solution was cooled down to 50°C by dropwise ethanol addition. 1ml ethanol/min for a total of 20 minutes was added to the solution to reach the required temperature and prevent starch solubilization.
- The resulting solution was centrifuged at 4000 rpm, and the remaining solid was obtained by freeze-drying (12 hours).

### 2.2. Characterization of MS particles

XRD and SEM analyses were conducted on MS particles to determine the structure of the solid and to validate the presence of MnO<sub>2</sub> on the structure. The X-ray diffraction (XRD) patterns were obtained by a Panalytical Empyrean instrument ( $\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$ ) at 200 kV and 50 mA in the range of  $2\theta$  value between 5° and 80° with a speed of 10° min<sup>-1</sup>. The surface morphology of microspheres was determined using an SEM, Zeiss Supra 40V device.

### 2.3. Experimental Studies and Statistical Analysis

As previously mentioned, varying amounts of KMnO<sub>4</sub> were added to starch during synthesis. Besides KMnO<sub>4</sub> amount, various parameters such as total amount of MS particles, glycerol content in the solution, and the amount of glycerol solution used in the reaction were also investigated. However, studying all of these parameters requires a high number of experimental work. This problem was solved by applying response surface methodology to determine the number and the order of experimental runs. The experiments conducted in this work were illustrated in Table 1. "A" corresponded to KMnO<sub>4</sub> amount inside the starch. The amounts were determined as 0.1, 0.15 and 0.25, with 0.15 being the centre (0). These values corresponded to 10, 15 and 25% of 1g starch. B is the amount of MS particles utilized in reaction. Its quantity was varied as 0.06, 0.12, and 0.24g with 0.12 being the centre (0). Finally, C is the amount of glycerol % in solution. Glycerol content was determined as 20, 40, and 60% with 40% being the centre (0). Another set of experiments with varying amounts of glycerol solutions (3, 6, and 12 ml) was also conducted. However, preliminary evaluation of results indicated a negligible effect of solution amount on temperature increase, and ANOVA was only applied to the results obtained with 6 ml of 20, 40, and 60% glycerol solutions. The results of all experiments in terms of temperature increase with varying KMnO<sub>4</sub>, MS amounts, the volume of solution and glycerol content in solution were illustrated in Supplementary file.

### 2.4. De-icing performance of pure and used MS particles on varying ice amounts

De-icing experiments were conducted at 4 and -16°C with different amounts of ice to imitate the effect of actual conditions. The parameters used in these experiments (e.g., the amount of KMnO<sub>4</sub> in MS particle, the amount of glycerol% in solution and the amount of MS particle) were determined based on the results of variance analyses. Additional experiments were conducted with only glycerol used as a de-icing chemical to validate supremacy of MS particles compared to glycerol.

Once MS particles are placed on the road or sidewalks, subsequent glycerol addition can be applied to these particles to enable complete snowmelt. This condition, which requires reuse of MS particles, was simulated with de-icing experiments with varying ice amounts (g) at varying temperatures. In these experiments, the ice after complete melting was removed from the holders and the same amount of ice was placed inside while no additional treatment (eq. washing, drying, etc.) was conducted to MS particles. The aim here was to determine the activity loss of MS particles in consecutive utilization. The experiments conducted in this section was given as a summary in Table 2. The experiments conducted with the sole utilization of 20 and 40 % glycerol was not given in Table 2 to prevent confusion. The related results, however, were interpreted in accordance on the "Results and Discussion" section.

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Characterization of MS particles

XRD analyses of MS particles with 10, 15, and 25% KMnO<sub>4</sub> loading amounts were illustrated in Figure 1. XRD analyses were conducted to determine a possible reaction between KMnO<sub>4</sub> and starch during synthesis. This reaction occurring during synthesis could result in the loss of KMnO<sub>4</sub> prior to its use in de-icing. The most facile way to determine the possibility of starch oxidation was to validate MnO<sub>2</sub> presence in MS particles. Starch oxidation by KMnO<sub>4</sub> could take place either in acidic or alkaline conditions. Acidic conditions required the presence of sulfuric acid and 2h of reactions while alkaline conditions could be achieved via sodium hydroxide addition (Hebeish *et al.*, 1999). In the present study, pH values of solutions were kept at neutral conditions during synthesis to avoid starch oxidation. 10 and 15% loadings revealed a little formation of MnO<sub>2</sub>, however, (111) and (021) crystal planes of MnO<sub>2</sub> were visible at  $2\theta$  values of 37 and 66° in the case of 25% loading (Tian *et al.*, 2017). Consequently, this loading value was determined as the threshold for KMnO<sub>4</sub> in MS particle. SEM image of MS particle with 10% KMnO<sub>4</sub> addition indicated the irregular formation of starch molecules with smooth surfaces with no detectable sign of cleavage (Figure 2) (Jan *et al.*, 2017).

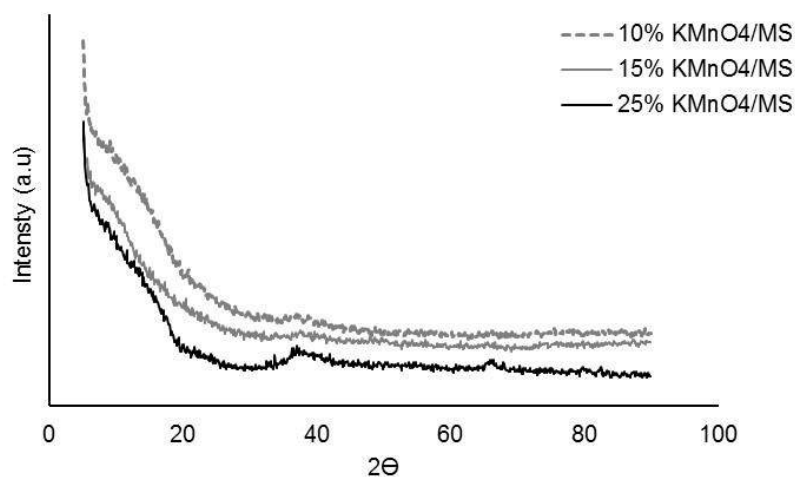


Figure 1. XRD analyses of MS particles.

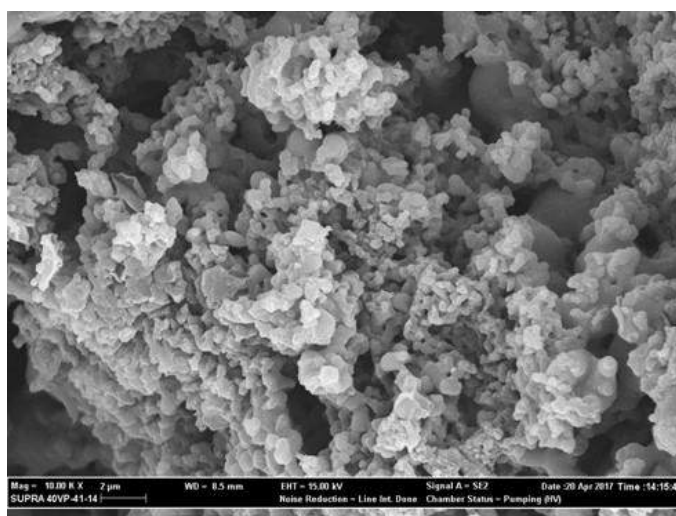


Figure 2. SEM image of MS particles with 10%  $\text{KMnO}_4$  loading.

### 3.2. Reaction Experiments and Statistical Analysis

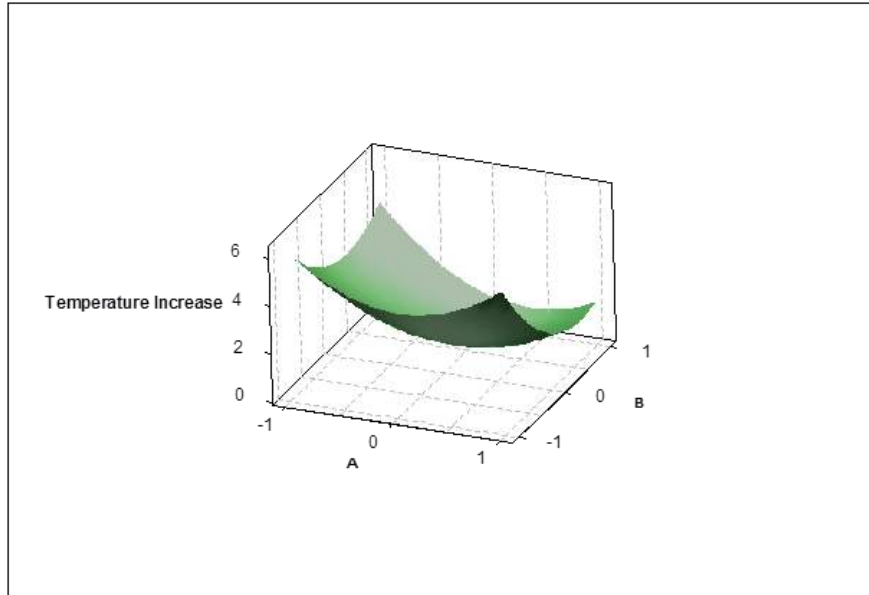
Combustion reaction between glycerol and potassium permanganate proceeds slowly at first. However, the rate of reaction increases as the reaction proceeds and consequently, a large amount of heat could be generated to enable temperature increase in the area of application. The main idea was to use  $\text{KMnO}_4$  containing MS particles in ice and react these with glycerol. The heat generated during the reaction would melt the ice. Although the complete mechanism of this combustion reaction was not known, end products besides  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  and organic compounds contained  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ , along with  $\text{K}_2\text{MnO}_4$  and  $\text{MnO}_2$  depending on the presence of water in the reaction medium. These compounds are known to induce plant growth. Moreover, utilization of MS particles with glycerol would reverse the harmful impacts on roadside vegetation and aquatic organisms emanated from salt utilization as de-icer.

Results of reaction experiments were given in Supplementary file, as previously mentioned. Analysis of variance conducted with selected results was illustrated in Table 3. Response model equation was determined as:

$$Y = 1.24091 - 0.75A - 1.5B - 0.15C + 1.77273A^2 + 1.55273B^2 - 0.727273C^2 - 0.625AB + 0.25AC - 0.125BC \quad (1)$$

Squared and adjusted square R values validated that the results had been statistically significant. The  $p$  values of A, B,  $A^2$ ,  $B^2$  and AB were smaller than 0.05, showing that the obtained temperature increase was merely dependent on the amount of  $\text{KMnO}_4$  and MS particle. On the other hand, the effect of glycerol % in solution was ineffective, as seen from the table. Response surface plot indicating the effects of MS and  $\text{KMnO}_4$  amounts on temperature change was given in Figure 3. Temperature increase was highest either in the presence of highest  $\text{KMnO}_4$  loaded in lowest amount of MS particle or in the presence of lowest  $\text{KMnO}_4$  loaded in highest amount of MS particle. The opposite trend obtained for two parameters was among the highlights of study indicating combined effect of glycerol. It was thought that glycerol had both contributed as a de-icer itself and as a reactant in the reaction. This double effect also explained statistically insignificant values obtained with altered glycerol amounts. The safest environmental option, in our opinion, was selected with lowest amount of  $\text{KMnO}_4$ , highest amount of MS particle (0.24g) based on the results.



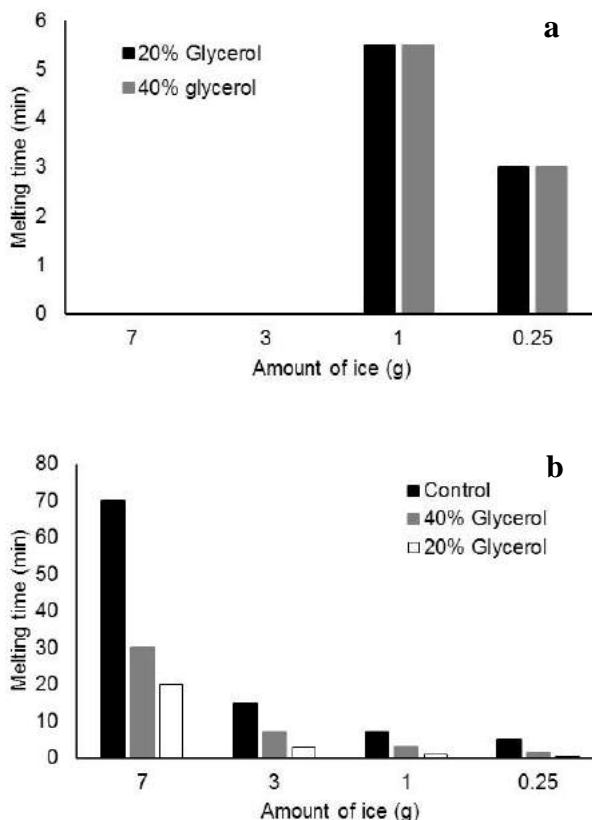


**Figure 3.** Response surface plots indicating the effect of  $\text{KMnO}_4$  amount in the particle and total amount of MS particle utilized for deicing. The plot was obtained based on center conditions of glycerol amount (40% glycerol) (A: Amount of  $\text{KMnO}_4$  inside MS particle; B: Amount of MS particle used in reaction)

### ***Determination of de-icing performance of pure and used MS particles on varying ice amounts***

Effect of glycerol amount on de-icing performance was investigated with 20 and 40% glycerol at  $-16$  and  $+4^\circ\text{C}$ , in the presence of 0.24g MS particles containing 10%  $\text{KMnO}_4$  in its structure. At  $-16^\circ\text{C}$ , the amount of glycerol did not affect melting time (Figure 4a) On the other hand, at  $+4^\circ\text{C}$ , results indicated lower de-icing times with 20% glycerol. This result was important as glycerol could also be used as de-icer fluid, and its increased amount in the solution should be more effective in decreasing the melting time of ice. Based on the results obtained with lower amounts of glycerol at  $+4^\circ\text{C}$ , our understanding was that the exothermic reaction between  $\text{KMnO}_4$  in MS particle and glycerol had been more important in the formation of de-icing effect than sole utilization of glycerol. The better results obtained in lower glycerol amounts could be explained by higher diffusion of 20% glycerol solution inside MS particle due to its lower viscosity compared to 40% glycerol solution (Figure 4b). De-icing experiments at  $+4^\circ\text{C}$  was also conducted with control in which the average melting time of ice was measured, and results indicated the high activity of MS particle and glycerol system in de-icing (Figure 4b).

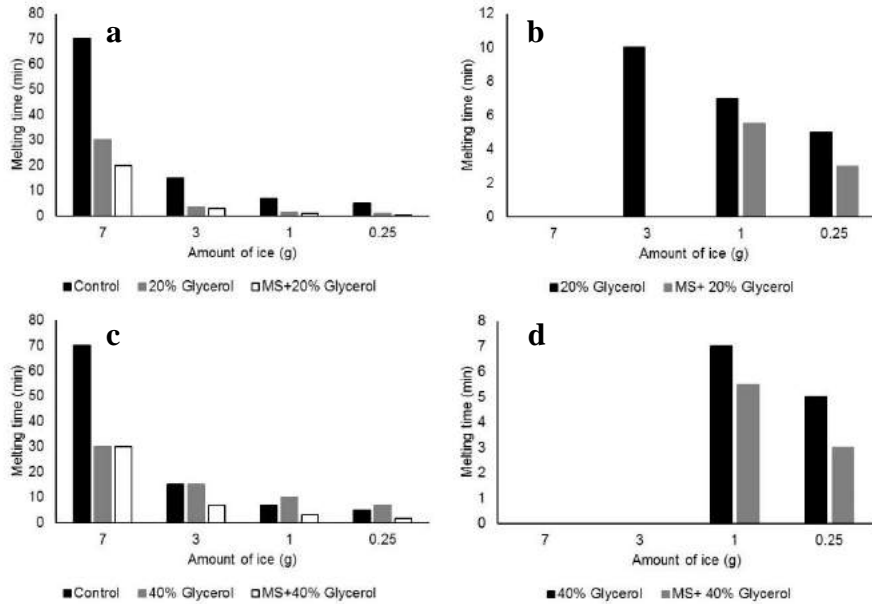




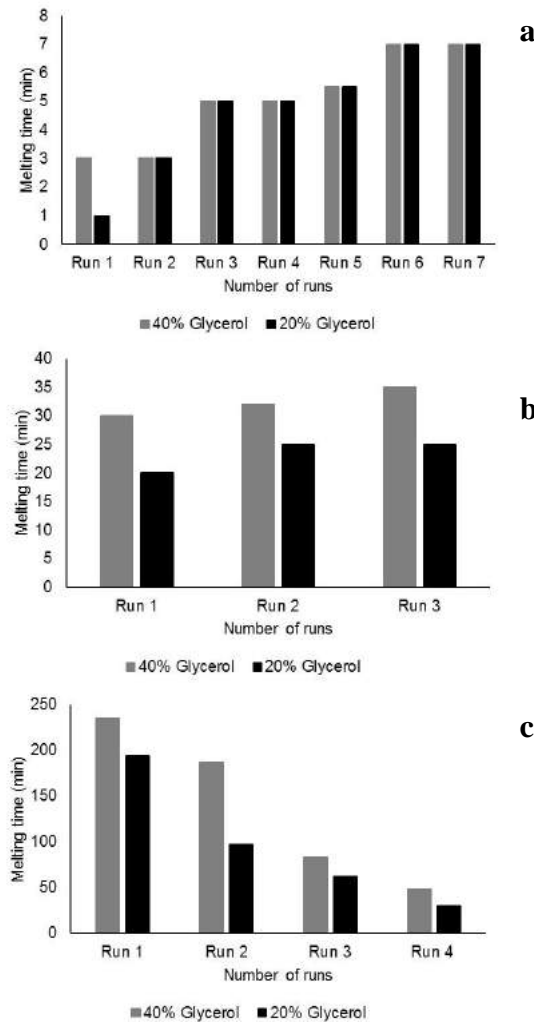
**Figure 4.** Effect of glycerol content in deicing performance at a)  $-16^{\circ}\text{C}$  and b)  $+4^{\circ}\text{C}$  (MS particle: 0.24g;  $\text{KMnO}_4\%$ :10)

Additional experiments in the presence of glycerol was conducted without the use of MS particles in order to validate the effect of MS particle. Results were illustrated for both temperatures ( $-16$  and  $+4^{\circ}\text{C}$ ) in Figure 5. Single use of glycerol was effective in decreasing the melting time of ice, as expected. However, lower melting time in the presence of MS particles was obtained, which revealed relatively higher performance as a de-icer.

Spent MS particles were used in de-icing experiments to determine their effect on repeated utilization. De-icing tests were performed with varying ice amounts at  $+4^{\circ}\text{C}$  with 20 and 40% glycerol. As previously mentioned, 0.24g MS particles containing 10%  $\text{KMnO}_4$  were utilized in all experiments. In the case of lowest ice amount, the particles were active until the 5<sup>th</sup> run with melting times being in close range. However, after the 5<sup>th</sup> run, an increase in melting time for both solutions was observed as seen in figure (Figure 6a). The increase in ice amount had an increasing effect on the melting time (Figure 6b), however, further growth in ice amount resulted in a decrease of melting time in repeated runs for both solutions. This is the most important result obtained in this study since it has not only showed that repeated use of MS particles had been possible but also a decrease in melting time could have been achieved in repeated use. The decline in melting time was thought to be due to the amount of water released during melting. We believe that a threshold value of ice enabling dissolution of starch existed. Although starch is not soluble in cold water, elevated amounts of water could result in some loss of starch. This enhanced accessibility of glycerol to  $\text{KMnO}_4$  inside the structure, increasing the temperature and hence decreasing melting time.



**Figure 5.** Comparison of MS particles with a) 20% Glycerol solution at +4°C b) 20% Glycerol solution at -16°C c) 40% Glycerol solution at +4°C d) 40% Glycerol solution at -16°C (MS particle: 0.24g; KMnO<sub>4</sub>:10)



**Figure 6.** Effect of ice amount on repeated use of MS particles (0.24 g MS particle containing 10% KMnO<sub>4</sub>) with a) 1 g ice b) 7 g ice and c) 15 g ice (Run indicates the number of repeated particle use)

**Summaries**

Combined utilization of starch modified with KMnO<sub>4</sub> and glycerol was proposed for use as a de-icer alternative to glycerol and salt based de-icers. Results indicated an improvement in de-icing effect compared to sole glycerol utilization which was attributed to the exothermic reaction between glycerol and KMnO<sub>4</sub>. Based on statistical analyses, the use of lowest amount of KMnO<sub>4</sub> with highest

amount of MS particle was recommended to maintain environmental benign conditions. MS particles showed higher performance in elevated amounts of ice due to starch dissolution. Comparison of fresh and spent MS particles revealed higher performance values with lowest glycerol % in solution, in the presence of spent MS particles. This was the highlight of the study indicating the possibility of a decrease in glycerol utilization as de-icer.

## References

- Bai, X., Dong, Z., Wu, X., Tong, J., Zhou, J. (2013). Changes in the crystalline structure of microspheres of corn starch and amylose under isothermal and temperature cycling treatments. *Ind Crop Prod.* 51,220.
- Denby, B.R., Ketzel, M., Ellermann, T., Stojiljkovic, A., Kupiainen, K., Niemi, J.V., Norman, M., Johansson, C., Gustafsson, M., Blomqvist, G., Janhall, S., Sundvor, I. (2016). Road salt emissions: A comparison of measurements and modelling using the NORTRIP road dust emission model. *Athmos Environ.* 141,508.
- Durickovic, I., Marchetti, M., Derombise, G., Poissonnier, S., Framot-Terrasse, L., Ludwig, S., Moutton, M. (2012). Spectroscopic appreciation of road deicers in soil and water samples. *Procedia Social and Behavioral Sciences.* 48, 2482.
- Equizaa, M.A., Calvo-Polanco, M., Cirelli, D., Senorans, J., Wartenbec, M., Saunders, C., Zwiaseka, J.J. (2017). Long-term impact of road salt (NaCl) on soil and urban trees in Edmonton, Canada. *Urban Forestry & Urban Greening.* 21, 16.
- Fu, W., Mathews, A.P. (2005). Two-stage fermentation process for the production of calcium magnesium acetate and propionate road deicers. *Enzyme Microb Tech.* 36, 953.
- Ganjaj, G., Fang, Q., Hanna, M.A. (2007). Freezing points and small-scale deicing tests for salts of levulinic acid made from grain sorghum. *Bioresour Technol.* 98, 2814.
- Hebeish, A., El-Rafie, M.H., El-Sisi, F. Abdel Hafiz, S., Abdel Rahman, A.A. (1999). Oxidation of rice and maize starches using potassium permanganate with various reductants. *Polym Degrad Stabil.* 43, 363.
- Hintz, W.D., Relyea, R.A. (2017). Impacts of road deicing salts on the early-life growth and development of a stream salmonid: Salt type matters. *Environ Pollut.* 223,409-415.
- Huo, Z., Fang, Y., Yao, G., Zeng, X., Ren, D., Jin, F. (2015). Improved two-step hydrothermal process for acetic acid production from carbohydrate biomass. *Journal of Energy Chemistry.* 24, 207.
- Jan, K.N., Panesar, P.S., Rana, J.C., Singh, S. (2017). Structural, thermal and rheological properties of starches isolated from Indian quinoa varieties. *Int J Biol Macromol.* 102, 315.
- Jin, F., Zhang, G., Watanabe, Y., Kishita, A., Enomoto, H. (2010). A new process for producing calcium acetate from vegetable wastes for use as an environmentally friendly deicer. *Bioresour Technol.* 19, 7299.
- Johnson, E.P. (2012). Aircraft de-icer: Recycling can cut carbon emissions in half. *Environ Impact Asses.* 32, 156.
- Jones, D.K., Mattes, B.M., Hintz, W.D., Schuler, M.S., Stoler, A.B., Lind, L.A., Cooper, R.O., Relyea, R.A. (2017). Investigation of road salts and biotic stressors on freshwater wetland communities. *Environ Pollut.* 221, 159.
- Mahros, U., Rosseland, B.O., Salbu, B., Teien, H.C. (2017). Single and multiple stressor effect of road deicers and Cu on Atlantic salmon (*Salmo salar*) alevins from hatching till swim-up. *J Environ Sci.* 66, 368.
- Murphy, C., Wallace, S., Knight, R., Cooper, D., Sellers, T. (2015). Treatment performance of an aerated constructed wetland treating glycol from de-icing operations at UK airport. *Ecol Eng.* 80, 117.
- Namazi, H., Dadkhah, A. (2010). Convenient method for preparation of hydrophobically modified starch nanocrystals with using fatty acids. *Carbohydr Polym.* 79, 731.
- Oh, S.J., Choi, G.G., Kim, J.S. (2017). Production of acetic acid-rich bio-oils from the fast pyrolysis of biomass and synthesis of calcium magnesium acetate deicer. *J Anal Appl Pyrol.* 124, 122.
- Ozgan, E., Serin, S., Gerengi, H., Arslan, İ. (2013). Multi-faceted investigation of the effect of de-icer chemicals on the engineering properties of asphalt concrete. *Cold Reg Sci Technol.* 87, 59.
- Poorgholya, N., Massoumi, B., Jaymand, M. (2017). A novel starch-based stimuli-responsive nanosystem for theranostic applications. *Int J Biol Macromol.* 97, 654.
- Sarka, E., Dvoracek, V. (2017). New processing and applications of waxy starch (a review). *J Food Eng.* 206, 77.
- Simsek, V., Degirmenci, L., Murtezaoglu, K. (2016). Esterification of Lauric Acid with Glycerol in the Presence of STA/MCM-41 Catalysts. *International Journal of Chemical Reactor Engineering.* 15(2), 1.
- Tian, Z., Wang, C., Si, Z., Ma, L., Chen, L., Liu, Q., Zhang, Q., Huang, H. (2017). Fischer-Tropsch synthesis to light olefins over iron-based catalysts supported on KMnO<sub>4</sub> modified activated carbon by a facile method. *Appl Catal A-Gen.* 541, 50.
- Yang, B.Y., Montgomery, R. (2003). De-Icers Derived From Corn Steep Water. *Bioresour Technol.* 90, 265.
- Zhu, F. (2017). Plasma modification of starch. *Food Chem.* 232, 476.



# Kentsel Açık ve Yeşil Alanlarda Vandalizmin İncelenmesi: Isparta Ayazmana ve Gökçay Mesire Alanları Örneği

Candan Şahin<sup>1\*</sup>, Büşra Onay<sup>2</sup>, Anıl Evcı<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0413-2380)

<sup>2</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3126-2276)

<sup>3</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3126-2275)

(İlk Geliş Tarihi 10 Eylül 2019 ve Kabul Tarihi 22 Ekim 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.617935)

**ATIF/REFERENCE:** Şahin, C., Onay, B. & Evcı, A. (2019). Kentsel Açık ve Yeşil Alanlarda Vandalizmin İncelenmesi: Isparta Ayazmana ve Gökçay Mesire Alanları Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 198-205.

## Öz

İnsanların eğlenme, dinlenme, hoş vakit geçirme gibi pek çok aktiviteyi yapabildiği kentsel açık ve yeşil alanların çeşitli sebepler ile tahrip edilmesi vandalizm olarak tanımlanmaktadır. Genel olarak insanlar tarafından sıklıkla kullanılan mesire ve rekreasyon alanları vandalizmin etkisi altında kalmaktadır. Bu alanlar, insanların kentlerin sıkıcı ve gürültülü havasından uzaklaştıkları ve dinlenebildikleri alanlardır. Bu özel alanlardaki oturma, barınma, korunma, ulaşım, aydınlatma, iletişim, oyun ve spor gibi temel fonksiyonları destekleyen peyzaj elemanlarının korunması ve fonksiyonelliğini uzun süre devam ettirmesi önemlidir. Kentsel açık ve yeşil alanlarda vandalizm olgusunun ortaya konulmaya çalışıldığı bu çalışmada, alan olarak Isparta ilinde yer alan kent dokusu içinde insanlara rekreasyon olanakları sağlayan Ayazmana Mesireliği ve Gökçay Mesireliği seçilmiştir. Bu alanlarda, daha önce hazırlanmış olan gözlem formundan yararlanılarak elde edilen veriler değerlendirilmiş, çekilen fotoğraflarla alanlardaki kullanımların ve donatıların mevcut durumları ortaya konulmaya çalışılmıştır. Araştırma sonucunda Ayazmana ve Gökçay Mesire Alanlarının çoğunlukla piknik yapma ve dinlenme etkinlikleri için kullanıldığı belirlenmiştir. Her iki alan da özellikle hafta sonları çok yoğun ziyaret edilmektedir ve özellikle yaz aylarında ziyaretçi kapasitesinin üzerinde kullanılmaktadır. Bu mesire alanlarında yapılan çalışmalarda, özellikle piknik masaları ve oturma elemanlarında önemli şekilde vandalizm örnekleri gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kentsel Açık ve Yeşil Alan, Vandalizm, Isparta.

## A study on Vandalism in Urban Open and Green Areas: A Case Study of Ayazmana and Gökçay Promenade Areas of Isparta

### Abstract

Urban open and green spaces where people can enjoy many activities such as having fun, resting and having a nice time are destroyed for various reasons and called vandalism. In general, recreation areas and green spaces, which are often used by people, are under the influence of vandalism. These areas are the places where people can get away from the boring and noisy atmosphere of the cities and relax. It is important that the landscape elements supporting important functions such as sitting, sheltering, protection, transportation, lighting, communication, games and sports in these special areas these features should be maintained for a long time. In this study, the vandalism in urban open and green areas is tried to be revealed, Ayazmana and Gökçay reserved green areas, which provides recreation opportunities for people in the urban life for Isparta residents, has been selected. In these areas, the data obtained from the observation form prepared earlier were evaluated and the current conditions of the uses and the equipments in the areas were tried to be revealed with the photographs taken. As a result of the research, Ayazmana and Gökçay Recreation areas are mostly used for picnic and some recreation activities. Both areas are heavily visited especially during the weekends and are used above the visitor capacity, especially in summer. Significant examples of vandalism were observed especially in picnic tables and seating elements in these areas.

**Keywords:** Urban open spaces and green spaces, Vandalism, Isparta city

\* Sorumlu Yazar: Süleyman Demirel Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Isparta, Türkiye, ORCID: 0000-0002-0413-2380, [candansahin@sdu.edu.tr](mailto:candansahin@sdu.edu.tr)

## 1. Giriş

Kentleşme ile birlikte ciddi bir sorun olarak ortaya çıkan vandalizm; kentsel alanlarda, ortak yaşam alanlarına zarar verme şeklinde oluşmaktadır. Özellikle doğal ve nesnel güzelliklere, eşyalara, sanat eserlerine yönelen, düzensiz ve denetimsiz bir dürtüdür. Bu dürtü, şiddetin kaynağı olan ve “bir yöne doğru hareket etmek” anlamına gelen aggression (saldırganlık) dürtüsünün sonucu şeklinde ifade edilmektedir (Akyol, 2006).

Vandalizm eylemleri sadece bireyi değil birey ile birlikte aile ve toplumu da etkilerken bazı olumsuz sonuçların oluşmasını sağlamaktadır. Vandalizm sonucu kamu malları tahrip olmakta, suçlara neden olmakta, birçok kazalar oluşmakta, maliyet ve görsel kirlilik gibi nedenlerle sosyo-psikolojik etkiler söz konusu olabilmektedir.

Vandalizm, ekonomik maliyeti yüksek seviyelerle ifade edilecek kadar büyük boyutlara ulaşmıştır. Bu çalışmadaki temel amaç, Isparta kenti örneğinde kentsel açık ve yeşil alanlarda karşılaşılan vandalizm sonuçlarını ortaya koyabilmek ve vandalizmin yol açtığı zararların boyutlarına dikkat çekmektir. Ayrıca, tasarım aşamasında alınacak önlemlerle, vandalizmin etkilerinin engellenmesinin mümkün olup olmadığı da araştırılmıştır.

Çalışma alanı olarak, Isparta’da kentsel tasarım bütünü içinde yer alan ve kent dokusu içinde insanlara önemli rekreasyon olanakları sağlayan Ayazmana Mesire Alanı ve Gökçay Mesire Alanı seçilmiştir. Çalışma kapsamında insanları stresten uzaklaştıran, onlara dinlenme, eğlenme olanakları sağlayan, sosyalleşmelerine de imkan sağlayan kentsel açık ve yeşil alanların görsel kalitesini düşüren vandalizm sorunu, seçilen örnek alanlarda gözlem yöntemi kullanılarak incelenmiş ve bazı öneriler sunulmuştur.

### 1.1. Vandalizm Kavramı

Şehir yaşamında ciddi bir sorun olarak karşılaşılan vandalizm, birçok yerleşim alanında tehlike oluşturan bir olgudur. Kentsel yerleşimlerde birçok tehlike yaratan vandalizm ile ilgili olarak sosyoloji, psikoloji, kriminoloji, mimari gibi birçok bilim dalında farklı tanımlamalar getirilmiştir (Dinçtürk, 2007).

Suçbilimci Conklin vandalizmi “*sahibinin izni olmadan bir malın tahribi, hasara uğratılması, şeklinin ya da görünümünün bozulması*” şeklinde tanımlarken, psiko-sosyal bir araştırmacı Stanley Cohen ise; “*bir başkasına ait olan malların yasal olmayan bir biçimde tahrip edilmesi veya görünümünün bozulması*” şeklinde tanımlamaktadır (Yıldırım, 2000).

Birçok meslek disiplinde araştırma konusu olan vandalizmin oluşmasında; okul, iş, eğlenme, aile ve komşuluk ortamları gibi çevresel faktörler ile birlikte sıkıntı, kişisel ilişkiler, tatminsizlik ve bir işe yaramama gibi duyuşsal faktörler de rol oynamaktadır (Akyol, 2006).

Vandalist eylemler maddi ve sosyal maliyetle ilgili farklı sonuçlara sebep olabilmektedir. Vandalizm eylemleri ise; sosyal maliyetli vandalizm, maddi zararlı vandalizm ve grafiti olmak üzere üç başlık altında sınıflandırılabilir (Dinçtürk, 2007):

✓ **Sosyal maliyetli vandalizm:** Sosyal zararları açısından büyük kayıplara sebep olan bu vandalizmde; çimlerin ezilmesi, çiçeklere zarar verilmesi, bankların üzerine yazılar yazılması, donatı elemanlarının kırılması örnek olarak verilebilir (Olgun, 2013).

✓ **Maddi zararlı vandalizm:** Maddi zararlara neden olan vandalist eylemler; ağgözlü vandalizm, kinci vandalizm ve kötü niyetli vandalizm olarak açıklanabilir (Olgun, 2013).

✓ **Grafiti:** Grafitinin temelinde görünmek vardır. Bu nedenle, fazla sayıda insan tarafından görülebilmesi için eylemler genellikle kent merkezinde yapılmaktadır. Mülkiyet sahipliğinin düşük, görünürlüğün yüksek olduğu mekânlarda ise bu eyleme daha fazla rastlanılmaktadır (Erdoğan, 2009). Özellikle tren, otomobil, otobüs yüzeylerinde, kentsel donatı elemanlarında sıklıkla görülmektedir. Grafitinin sanat mı yoksa vandalizm mi olduğu hala tartışılmaktadır. Fakat birçok ülkede kamuya açık alanlarda yapılan grafitiler suç olarak kabul edilmektedir (Olgun, 2013).

#### 1.1.1. Vandalizm Görülen Alanlar

Vandalizmin en fazla olduğu yerler; asansörler, garajlar, depolar, alt geçitler köprüler ve sürekli olarak halkın gözetimine ve denetimine açık olmayan alanlardır. Ayrıca park ve oyun alanları, ağaçlar, yollar, okullar, kütüphaneler, ulaşım ve haberleşme araçları, işaret ve levhaları, kent donatıları, tarihi eserler ve sanatsal yapılar ile terk edilmiş izlenimi veren yapılarda vandalizm olaylarına rastlanılmaktadır (Yıldırım, 2000).

İnsanlar tarafından yoğun olarak kullanılan rekreasyon ve mesire alanları, vandalizmin etkisi altında kalmaktadır. Kentsel yaşamın temel gereksinimlerinden olan rekreasyon alanları, insanların evlerinden çıktıkları zaman kentin olumsuz, sıkıcı ve gürültülü havasından kendilerini kurtarabilecekleri ve dinlenebilecekleri önemli mekânlardır. Yollar, caddeler ve meydanlar ile dinlenme amaçlı özel alanlarda kullanılan, konforun göstergesi konumundaki oturma, barınma, korunma, ulaşım, aydınlatma, iletişim, oyun ve spor gibi temel fonksiyonları destekleyen, toplumsal yaşamı kolaylaştıran ve kullanıcıların beğenilerini kazanan peyzaj elemanları ‘*kentsel donatı*’ ya da ‘*donatı elemanları*’ olarak açıklanmaktadır (Başal vd., 1997). Peyzaj elemanlarına (kentsel donatı); çocuk oyun grupları, spor ekipmanları ve alanları, piknik masaları, banklar, işaret levhaları, panolar, aydınlatma elemanları gibi donatı elemanları ile birlikte park ve bahçelerde yer alan süs havuzları, binalar, büfeler, otoparklar, araç ve yaya yolları, bitkisel materyaller örnek olarak verilebilir.

Yukarıda kısaca açıklanan bu tür alanların vandalizme maruz kalmasında, özellikle kullanıcı yoğunluğunun fazla olması, aydınlatmanın yetersiz olması ve bakım-onarım çalışmalarının yapılmıyor olması oldukça önemlidir. Yapılan çalışmalarda vandalizme en fazla maruz kalan donatı elemanları olarak; zemin elemanları, oturma elemanları, aydınlatma elemanları, çöp kutuları, sınırlandırma



elemanları, pano ve levhalar, duraklar, çocuk oyun donatıları ile bitkisel materyaller verilebilir. Bunlar aşağıda kısaca açıklanmıştır (Akyol, 2006).

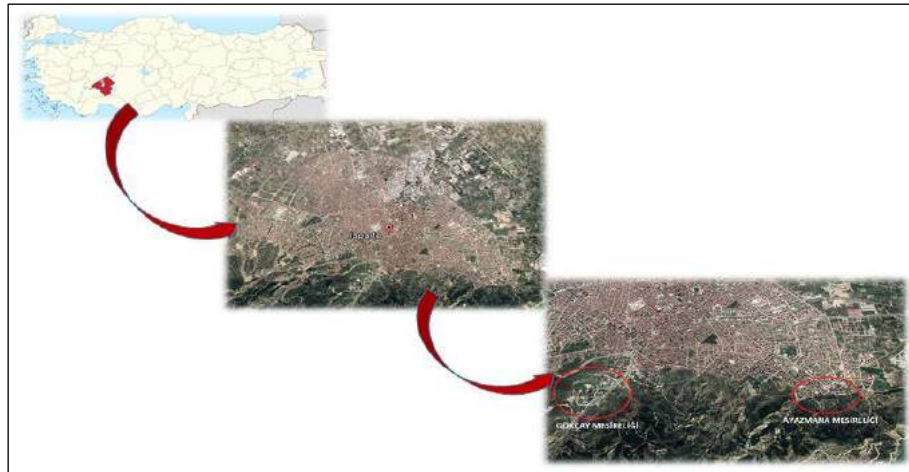
- **Aydınlatma Elemanları:** Aydınlatmanın uygun yapılması, vandalizmin engellemesi için gereklidir. Aydınlatma elemanlarının vandalizme maruz kalması durumunda, aydınlatma işlevini yerine getiremediğinden vandalistik eylemlerin oluşmasına neden olmaktadır. Aydınlatma elemanlarının dikkatli seçimi ve doğru yerleştirilmesi, kontrol ve bakımlarının düzenli olarak yapılması, bu elemanlara karşı vandalizm eylemlerin azalmasında etkili olmaktadır.
- **Zemin Elemanları:** Sürekli kullanım durumundaki zemin elemanlarının hatalı uygulanması (drenaj) ve uygun bakım/onarım işlemlerinin yapılmaması durumunda oluşabilecek görüntüler, vandalist eylemleri teşvik etmektedir.
- **Oturma Elemanları:** Oturma elemanları, zemine uygun ve yeterli derinlikte montaj edilmelidir. Kolay sökülebilir imajı yaratmamalıdır. Aynı zamanda oturma elemanları rahat olmalıdır.
- **Çöp Kutuları:** Çöp kutuları için dayanıklı malzemelerin seçilmesi, vandalizm eylemlerine karşı dayanıklı olması açısından önemlidir. Genel olarak duvara monte edilmiş çöp kutuları, vandalizmden diğer çöp kutusu çeşitlerinden daha az etkilenmektedir.
- **Bilgi-İletişim Levhaları:** Önemli işlevi olan bilgi-iletişim levhalarının kolay görünür ve algılanabilir olması yanında, ulaşılması güç noktalara yerleştirilmesi durumunda vandalizmden korunabilirler.
- **Çocuk Oyun Alanları:** Vandalizmin en sık karşılaşıldığı ve kazaların olduğu alanların başında, çocuk oyun alanları gelmektedir. Vidaları sökülmüş salıncaklar, ucu kalkmış kaydıraklar çocukların yaralanmalarına neden olmaktadır. Çocukların yaralanmalarını engellemek için, emniyetli yüzey kaplamaları; hücreli lastik yüzeyler veya 30 cm alt kotta hafif çakıllı kum idealdir.

Yapılan çalışmalar sonucunda, kentsel donatı elemanlarının seçimi ve vandalizme dayanıklılık konusunda altı kriterin önem taşıdığı görülmektedir (Akyol, 2006). Bunlar özet olarak; *uygunluk, ölçek, malzeme, bakım, yerleşim planı ve bağlantı detaylarıdır*. Zira, rahat olmayan bir oturma birimi, yanlış ışık veren bir aydınlatma elemanı, okunamayan bir bilgi panosu vandalizme açık kullanımlardır. Vandalizm eyleminden sonra onarılmayan bir materyal, ilerleyen zamanda daha fazla eylemi tetikleyebilir. Donatı elemanlarıyla birlikte bitkilerin vandalizme karşı bakım ve onarımlarının yapılması, eksikliklerin giderilmesi gerekmektedir. Ayrıca materyallerin hareketliliğini sağlayan bağlantı detaylarının ayarlanması da uygun bir şekilde yapılmalıdır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Araştırma alanını, Isparta İli kent merkezinde yer alan Ayazmana Mesire Alanı ve Gökçay Mesire Alanı oluşturmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanı

Ayazmana ve Gökçay Mesire alanları Isparta il merkezine en yakın mesire alanlarıdır. Ayazmana Mesire Alanı, il merkezinin güneydoğusunda, merkeze 2 km uzaklıktadır. Halıkent Mahallesi bitişiğinde yer almaktadır. Kaynak suyun bulunduğu Ayazmana Mesire Alanı, kestane ağaçlarıyla kaplı olup piknik için tüm alt yapıları tamamlanmıştır. Gökçay Mesire Alanı ise geniş bir arazi üzerinde kurulmuştur. Alanda yüzyıllık kestane ağaçları bulunmaktadır. Gökçay Mesireliği, özellikle yaz aylarında panoramik görüntülere ev sahipliği yapmaktadır (Isparta Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2015).

### 2.2. Metot

Bu araştırma Isparta İli kent merkezinde yürütülmüştür. Veriler, gözlem ve doküman analizi yöntemlerinden yararlanılarak toplanmıştır. Araştırma alanını oluşturan Ayazmana Mesire Alanı ve Gökçay Mesire Alanına araştırmacılar tarafından yerinde ziyaretler

gerçekleştirilmiştir. Alan ziyaretinde, daha önce hazırlanmış olan mesire alanı inceleme/gözlem formu kullanılmıştır. Literatüre ve ilgili araştırmalara dayandırılarak hazırlanmış olan inceleme/gözlem formu, daha çok mevcut durumu ortaya koymaya yönelik olarak tasarlanmıştır.

Araştırma konusu ile ilgili elde edilen literatür bilgileri, araştırma alanından çekilen fotoğraflar ve alanda yapılan gözlemler, araştırmanın yöntemini oluşturmaktadır. Araştırma kapsamında mesire alanı inceleme/gözlem formuyla elde edilen veriler değerlendirilmiş, çekilen fotoğraflarla alanlardaki kullanımların ve donatıların mevcut durumları ortaya konulmaya çalışılmıştır.

### 3. Araştırma Sonuçları

#### 3.1. Ayazmana Mesire Alanı

Ayazmana Mesireliği Isparta kent merkezinde yer alan eski mesire alanlarından birisidir. Kapladığı alan yaklaşık 18 ha ve rakımı ise 1030-1140 m arasındadır. Hakim bakı yönü kuzey olup, ortalama eğim %30'dur. Mesireliğin bitki örtüsünün önemli bir bölümünü doğal olarak yetişmiş olan Anadolu Kestanesi'nin (*Castanea sativa* Mill.) oluşturduğu tespit edilmiştir. Ayrıca alanda doğal olarak; kermes meşesi, adi ceviz, ardıç, kuşburnu, yabancı erik, geyik dikenleri, sığır kuyruğu vb taksonlara da rastlanılmıştır. Ayrıca alana peyzaj uygulama çalışmalarında karaçam, mavi servi, yalancı akasya da dikildiği belirlenmiştir.

Mesire alanının mülkiyeti Isparta Belediyesi'ne aittir. Alanda; otopark, çocuk oyun alanı, açık hava tiyatrosu, kır kahvesi, restoran, pergola, kameriye, havuz, mescit, büfe, çeşme, WC, oturma grupları bulunduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, alanın çeşitli yerlerine manzara seyri için oturma terasları yapılmıştır.

Yerleşim alanları içinde, Halıkent-Vatan Mahalleleri arasında kalan ve bu nedenle halk tarafından genel olarak güvenli nitelendirilen Ayazmana Mesireliği, bu özellikleri nedeniyle yoğun olarak tercih edilmektedir. Bu durum, Ayazmana Mesire Alanındaki kullanım yoğunluğunu artırmakta ve bunun sonucu olarak donatıların önemli oranda zarar görmesi veya yıpranması sonucunu doğurmaktadır.

#### 3.2. Gökçay Mesireliği

Keçeci Mahallesi'nde yer alan Gökçay Mesireliği Isparta şehir merkezinde 600 dönümlük, geniş sayılabilecek bir arazi üzerine kurulmuştur. Arazide yüzyıllık kestane ağaçlarının bulunduğu tespit edilmiştir. Park alanı üzerinde Selçuklu ve Osmanlı mimarisi tarzında yapılmış tarihi yapılar ile piknik alanları ve donatı elemanları bulunmaktadır. Geniş çocuk oyun alanları çocukların, piknik ve diğer rekreasyon faaliyetleri için de tüm aile fertlerinin faydalandığı alan, yaz aylarında panoramik bir görüntüye sahip olmasından dolayı, halk tarafından tercih edilmektedir.

Mesire alanının mülkiyeti Isparta Belediyesi'ne aittir. Mesire alanında; otopark, çocuk oyun alanı, restoran, pergola, kameriye, havuz, mescit, büfe, çeşme, WC, oturma grupları bulunmaktadır. Ayrıca, alanın çeşitli yerlerine manzara seyri için oturma mekânları yapılmıştır.

Ulaşımı kolay olarak değerlendirilebilecek bir alanda yer alan Gökçay Mesireliği, halk tarafından güvenli olması dolayısıyla özellikle hafta sonları yoğun olarak tercih edilmektedir. Bu durum, mesire alanındaki yoğunluğun artmasına bağlı olarak kullanım ve donatı elemanlarının yıpranmasına sebep olmaktadır.

#### 3.3. Ayazmana ve Gökçay Mesireliğindeki Yapısal Donatı Elemanları ve Vandalizm Durumları

Çalışma kapsamında inceleme yapılan mesire alanlarında yer alan donatı elemanları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Mesire alanlarında yer alan donatı elemanları

Mesire Alanının Adı	Donatı Çeşitleri									
	Bank	Piknik masası	Döşeme elemanları	Çöp kutusu	Çevreleme elemanları	Heykel	Aydınlatma elemanı	Çeşme	Çocuk oyun donatıları	Bitkiler
Ayazmana Mesire Alanı	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Gökçay Mesire Alanı	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Yukarıda kısaca açıklandığı üzere, vandalizm, kullanıcıların fiziksel ve psikolojik sağlığını tehdit eden bir olgudur. Kentsel açık ve yeşil alanlarda vandalizm sonucunda birçok sorunlar ortaya çıkmaktadır. Park ve bahçelerde, ağaç veya çalıların gövde kabuklarının soyulması, gövde üzerine yazı yazılması, resim yapılması en fazla karşılaşılan vandalizm örneklerindedir. Bu çalışma kapsamında da her iki mesire alanında benzer vandalizm örneklerine rastlanılmıştır. Yukarıda kısaca açıklandığı üzere, çocuk oyun alanları kazaların ve yaralanmaların sıklıkla yaşandığı yerlerdir ve emniyetli yüzey kaplamalarının kullanılması önemlidir. Gerek Gökçay gerekse Ayazmana Mesire Alanında bulunan çocuk oyun alanlarındaki zemin kaplama elemanları kaza riskine karşı yumuşak lastik elemanlarla

donatılmıştır. Fakat bazı oyun donatılarının yıpranmış olduğu ve işlevini yerine getiremediği görülmüştür. Şekil 2 de, Ayazmana Mesire Alanındaki çocuk donatı elemanına yapılan zarar yer almaktadır.



*Şekil 2. Ayazmana Mesire alanındaki bir çocuk oyun donatı elemanına yapılan zarar*

Çalışma kapsamında incelenen her iki mesire alanında da donatı elemanlarına benzer zararların verildiği gözlenmiştir. Şekil 3'te, Gökçay Mesire Alanında bulunan donatı elemanlarında, Şekil 4'te ise Ayazmana Mesire Alanında bulunan donatı elemanlarında rastlanılan vandalizm zararları yer almaktadır.

En yaygın olarak rastlanılan vandalizm zararlarının başında, ağaç gövdelerine yapılan yazı ve işaretler gelmektedir. Yapılan çalışmada da, her iki mesire alanında ağaçların üzerine yazılmış çeşitli yazı ve işaretlere rastlanılmıştır (Şekil 3a ve 4a). Açık yeşil alanlarda ve mesire alanlarında aydınlatma elemanlarının yeterli ve uygun aydınlatma yapması, vandalizmin engellenmesi için önemlidir. Aksi durumda, vandalizm eylemleri daha sıklıkla oluşabilir. Çevresini karanlıkta bırakan aydınlatma elemanları, güvenlik konusunda sorun yaratmakta, hırsızlık ve vandalizm olaylarına ortam hazırlamaktadır. Yapılan çalışma sonucunda, hem Gökçay hem de Ayazmana Mesire alanındaki aydınlatma elemanlarının zarar gördüğü tespit edilmiştir (Şekil 3b ve 4b). Oturma birimleri önemli işlevleri olan ve sık kullanılan elemanlardır. Bu birimlerin yerlerinin uygun olması ve yeterli sayıda olması, ayrıca uygun malzemelerle imal edilmesi gerekmektedir. Gökçay ve Ayazmana Mesire Alanlarındaki oturma birimlerinin nitelik ve nicelik olarak uygun seviyede olduğu tespit edilmiş olmakla birlikte yoğun kullanımdan dolayı aşındıkları, kısmen de olsa tahrip edilerek kullanılamaz duruma geldikleri gözlenmiştir (Şekil 3c ve 4c). Halkın yoğun kullanımına açık olan yapısal donatı elemanlarının vandalizm etkisine maruz kaldığı birçok araştırmada açıklanmıştır. Yapılan çalışmada her iki mesire alanında da bazı yapısal donatıların (Şekil 3d ve 4d), çöp kutularının (Şekil 3e ve 4e), işaret levhalarının zarar gördüğü, yerlerinden söküldüğü ve işlevini yerine getiremediği (Şekil 3h ve 4h) ve rastgele yazıların yazılması ve boyanması sonucunda (Şekil 3f,3g ve 4f,4g) çirkin görüntülerin oluştuğu görülmüştür.





Şekil 3. Gökçay Mesire Alanındaki donatı elemanlarında karşılaşılan vandalizm zararlarına örnekler (a: Ağaç yüzeyindeki zararlar; b: Zarar görmüş aydınlatma elemanı; c: Kullanılamaz duruma gelmiş oturma birimi; d: Zarar görmüş yapısal donatılar; e: Zarar görmüş çöp kutusu; f ve g: Yazı yazılmış ve resim yapılmış donatı elemanları; h: İşaret levhasının işlevsiz durumu)





*Şekil 4. Ayazmana Mesire Alanındaki donatı elemanlarında karşılaşılan vandalizm zararlarına örnekler (a: Ağaç yüzeyindeki yazı ve işaretler; b: Zarar görmüş aydınlatma elemanı; c: Aşınmış oturma birimi; d: Zarar görmüş yapısal donatılar; e: Zarar görmüş çöp kutusu; f ve g: Yazı yazılmış ve resim yapılmış donatı elemanları; h: Zarar görmüş işaret levhası)*

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Kırma, parçalama, yok etme, kesme, yakıcı madde atma, boya atma yoluyla sonucunu bilerek, başkasının ya da kamunun sahiplendiği, önemseydiği ve değerli bulduğu bir maddeye zarar verme yani vandalizm, alanın görsel kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Isparta kent merkezinde yer alan her iki mesire alanında yapılan gözlemler sonucunda, vandalizm eylemlerinin söz konusu alanların ikisinde de meydana geldiği tespit edilmiştir. Özellikle piknik masalarında ve banklarda, kazıma, çizme, oyma ve yazma, aydınlatma elemanlarında sökme, çöp kutularına zarar verme ve diğer yollarla kirletme başlıca vandalizm örnekleri olarak karşımıza çıkmaktadır.

Hem Ayazmana Mesire Alanını hem de Gökçay Mesire Alanını ziyaret eden bireyler; piknik yapma, sohbet etme ve dinlenme etkinlikleri için bu alanları tercih etmektedirler. Her iki alan da özellikle hafta sonları daha yoğun ziyaret edilmektedir. Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında, ziyaretçi kapasitesinin üzerinde kullanımların olduğu görülmektedir.



Halkın kullanımına sunulmuş olan söz konusu alanlarda yer alan donatı elemanları kullanımları esnasında zarar görebilmektedir. Bu tür zararların önlenmesi için halk çeşitli yöntemlerle uyarılmalıdır. İyi bir tasarım ve programlama ile vandalizm sonucunda oluşan hasarlar en aza indirilmelidir. Donatılar üzerindeki karalamaların hızla uzaklaştırılması, hasarlı parçaların değiştirilmesi, tamir edilmesi veya çöplerin uzaklaştırılması vandalizmi engelleyecektir. Vandalizme sebep olan problemin kaynağının bulunması, aynı sorunun tekrar ortaya çıkmasının engellenmesi açısından önemlidir. Donatı elemanlarında estetik ve işlevselliği sürdürülebilir kılmak amacıyla vandalizm eylemlerine karşı önlemler alınmalıdır. Vandalizm eylemlerinin meydana geldiği mesire alanlarında güvenlik önlemleri arttırılmalıdır.

## **Kaynakça**

- Akyol, E. (2006). Kent Mobilyaları Tasarım ve Kullanım Süreci. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, 138 s, İstanbul.
- Basal M., Memlük Y., Yılmaz O., Kurum E. (1997). Peyzaj Konstrüksiyonu, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 1484, Ders Kitabı: 445, 160 s, Ankara.
- Büyük Larousse, 23,12085-12086.
- Dinçtürk, S. (2007). Türkiye’de Vandalizmin Sosyal, Ekonomik ve Psikolojik Boyutları. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sosyoloji Anabilim Dalı, 96 s, Afyonkarahisar.
- Erdoğan, G. (2009). Kamusal Mekânda Sokak Sanatı: Grafiti İstanbul, Beyoğlu, Yüksek Kaldırım Sokak İncelemesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı, 206 s, Trabzon.
- Tolunay, A., Alkan, H., Korkmaz, M. (2004). Isparta Tarihi Ayazmana Mesireliği’nin Açık hava Rekreasyonu Açısından Kullanıcı Özellikleri. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 8-1, 59-70 s, Isparta.
- Olgun, R. (2013). Kentsel Yeşil Alanlarda Vandalizm ve Olası Tasarım Çözümlerinin Antalya Örneğinde İncelenmesi. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 114sf, Antalya.
- Yıldırım, A. (2000). Kamusal Alanlarda Vandalizm. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, 124 s, Trabzon.
- <https://isparta.ktb.gov.tr>. Isparta Kültür ve Turizm Müdürlüğü (2015).



# Vermikülit Katkılı Sert Poliüretan ile Kaplanmış Ahşap Kompozitlerin Yüzey Sertliğinin, Yanma Davranışlarının ve Elektromanyetik Ekranlama Özelliklerinin İncelenmesi

Ali İhsan Kaya<sup>1</sup>, İbrahim Kırbaş<sup>2\*</sup>

Ahmet Çifci<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tasarım Bölümü, Burdur, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1860-9610)

<sup>2</sup> Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Burdur, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5560-638X)

<sup>3</sup> Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Burdur, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7679-9945)

(İlk Geliş Tarihi 4 Eylül 2019 ve Kabul Tarihi 27 Eylül 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.615661)

**ATIF/REFERENCE:** Kaya, A.İ., Kırbaş, İ., & Çifci, A. (2019). Vermikülit Katkılı Sert Poliüretan ile Kaplanmış Ahşap Kompozitlerin Yüzey Sertliğinin, Yanma Davranışlarının ve Elektromanyetik Ekranlama Özelliklerinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 206-214.

## Öz

Bu çalışmada mineral madde olarak ısı ve yalıtım amaçlı kullanıma sahip olan vermikülit, sert poliüretan malzemeye eklenerek iki ayrı ahşap kompozit malzemenin yüzey kaplamasında kullanılmıştır. Vermikülit toplam poliüretan kütlesine %5 ve %10 oranında eklenmiştir. Çalışmada ahşap kompozit malzeme olarak orta yoğunlukta lif levha (Medium Density Fiberboard – MDF) ve kontrplak (Plywood) kullanılmıştır. Sert poliüretan ile yüzeyleri kaplanan ahşap kompozit malzemelerin yanma davranışı TS EN ISO 11925-2 standardına göre tek kaynaklı alev testi ile kütle kaybı ve ısı geçirgenlik değerleri DIN 4102 ve TS EN 13823 standardına göre incelenmiştir. Ayrıca malzemelerin yüzey sertlikleri ve elektromanyetik ekranlama özellikleri belirlenmiştir. Deneysel sonuçlara bakıldığında yüzeyi poliüretan ile kaplanmış ahşap kompozitlerde vermikülit katkısının her iki malzemenin yanma direncine olumlu katkı yaptığı belirlenmiştir. Yüzey sertliği kontrplak malzemelerde iyi sonuçlar verirken kütle kaybı ve ısı geçirgenlik değerinin MDF malzemelerde daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Deneyselerde ölçüm yapılan frekanslarda ağırlıkça katkılama oranı arttıkça elektromanyetik ekranlama özelliğinin arttığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Elektromanyetik Kalkanlama, Kontrplak, MDF, Poliüretan, Vermikülit, Yanma, Yüzey Sertliği.

## Investigation of Surface Hardness, Combustion Behavior and Electromagnetic Shielding Properties of Wood Composite Coated with Vermiculite-Doped Rigid Polyurethane

### Abstract

In this study, vermiculite, which is used as a mineral material for thermal and insulation purposes, was added to rigid polyurethane material and used in the surface coating of two different wood composite materials. Vermiculite was added to the total polyurethane

\* Sorumlu Yazar: Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Burdur, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5560-638X), [ikirbas@mehmetakif.edu.tr](mailto:ikirbas@mehmetakif.edu.tr)

mass by 5% and 10%. In the study, medium density fiberboard (MDF) and plywood were used as wood composite materials. The combustion behavior of wood composite materials coated with rigid polyurethane was examined in accordance with TS EN ISO 11925-2 standard with single source flame test and mass loss and thermal permeability values according to DIN 4102 and TS en 13823 standard. In addition, surface hardness and electromagnetic shielding properties of the materials were determined. According to the experimental results, it was determined that vermiculite additive in wood composites whose surface is covered with polyurethane contributes positively to the combustion resistance of both materials. While surface hardness gives good results in plywood materials, it is determined that mass loss and thermal permeability values give better results in MDF materials. In the experiments, it has been observed that as the ratio of vermiculite at the measured frequencies increases, the electromagnetic shielding property also increases.

**Keywords:** Electromagnetic Shielding, Plywood, MDF, Polyurethane, Vermiculite, Combustion, Surface Hardness.

## 1. Giriş

Ahşap kompozit malzeme olan ve orta yoğunluklu lif levha olarak bilinen MDF (Medium Density Fiberboard) oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Çoğunlukla mobilya sektöründe kullanıldığı gibi inşaat, ulaşım gibi farklı kullanım alanlarına da sahiptir. (Özdemir ve Ayaz, 2017). Bilinen özellikleri ile masif ağaç malzemeye en iyi alternatif olmuştur. Ahşap malzemeye göre yoğunluğu yüksek, pürüzsüz bir yüzeye sahip olması ve ekonomik olması başlıca özellikleri arasındadır. Yüzeyi üzerine her çeşit lake, boya vernik ve kaplama yapılabilir. Eğilme direnci, vida ve çivi tutma gücü yüksek olması artı bir avantaj sağlasa da, genel olarak ahşap kompozit malzemelerin özellikle MDF'nin yanma direncinin düşük olması en büyük dezavantajdır. Bu maksatla ahşap kompozit malzemelerin yanma özelliklerini iyileştirmek amaçlı bazı çalışmalar yapılmıştır. İstek ve ark., (2013) MDF yüzeyini çeşitli bor bileşikleriyle kaplanmış şekilde kullanımının yanma üzerine daha etkili olduğunu tespit etmişlerdir. Yine Özdemir ve Tutuş, (2016) yonga levha yüzeyinin borik asit ile kaplanmasıyla yanma davranışlarında olumlu etkiler belirlemişlerdir. Yanma özellikleri dışında yüzey özellikleri ile ilgili olarak yapılan bir çalışmada ise PVC kaplı panellerin darbe dayanımının daha iyi olduğunu, lake kaplı panellerin ise sigara yanığı testinde daha iyi sonuç verdiğini belirlemişlerdir (İstek ve ark., 2016).

Kontrplak ince ağaç katmanlarının çeşitli yapıştırıcılar ile birleştirilmesiyle elde edilen ahşap kompozit malzemedir. Katmanların üst üste gelen kısımlarında lif yönleri birbirine dik olacak şekilde birleştirilir. Kontrplakların mekanik ve fiziksel özelliklerini kullanan ağaç türü, tutkal, presleme süresi ve basıncı gibi etkenler belirler. Kullanılan ağaç türünün yoğunluğu yükseldikçe mekanik özellikler de daha iyi olmaktadır. Türkiye'de çoğunlukla kayın ve kavak türünden az miktar da çam ağacından kontrplak üretilmektedir (Bal ve ark., 2015). Kontrplakların mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik yapılan çalışmada (Örs ve ark., 2002) kayın ve kavak kontrplakları yoğunluk, çekme-makaslama, eğilme direnci ve elastiklik modülü açısından incelemişlerdir. Kayın ağacından üretilen kontrplakların mekanik özelliklerinin kavak kontrplakların mekanik özelliklerinden daha iyi olduğunu belirlemişlerdir.

Poliol ile diizosiyanat bileşiğinin polikondenzasyon reaksiyonu sonucu oluşan yapıya poliüretan denilir. Poliüretan üretiminde Poliölün ve diizosiyanatın türüne ve miktarına göre fiziksel ve kimyasal özelliklerine etki etmek mümkündür. Değişik özelliklerde üretilen poliüretanlar inşaat, otomobil, yapıştırıcı, soğutma ve mobilya alanlarında sıklıkla kullanılmaktadır (Erdem ve ark., 2018; Seo et al., 2004). Kullanımının yoğun olduğu mobilya sektöründe sert poliüretan formunda tercih edilmektedir.

Vermikülit düşük maliyetli magnezyum alüminyum silikat mineralidir (Patro et al., 2008). Yüksek kation değişimi ve adsorpsiyon kapasitesine sahiptir (Zang et al., 2016). Yüksek ısıya maruz kaldığında pul pul dökülür ve kurtçuklara benzer bir şekil alır ve hacmi genişler (Macheca et al., 2018; Binici, 2016). Genleşme sonucunda malzemenin yığın yoğunluğu, yaklaşık 10 kat azalarak,  $0.8 \text{ g/cm}^3$ 'ten  $0.08 \text{ g/cm}^3$ 'e düşmektedir. Yığın yoğunluğundaki düşüş, vermikülitin kalitesine ve genişletmenin yapıldığı fırın performansına bağlı olmakta ve ısı işlem sonucunda yaklaşık 20 ila 30 katlık bir genleşme sağlanabilmektedir. Genleşmiş vermikülit ateşe dayanıklıdır ( $1270-1370 \text{ }^\circ\text{C}$ ) ve iyi bir ısı ( $0,028 \text{ W/mK}$ ) ve ses yalıtım özelliğine sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı enerji verimli bina yapımında potansiyel bir adaydır. Mevcut durumda ise daha çok yapı ürünleri, bina izolasyonu, yangından korunma, otomotiv sektörü, çiçekçilik ve zirai uygulamalarda kullanılmaktadır. Sertliği 1.5-2.0 veya daha fazla, yoğunluğu 2.1-2.8, rengi amber, bronz, kahve, yeşil veya siyahtır. Özellikle ıslakken talka benzer. Vermikülit, biyotit ve flogopit ile yakından ilişkilidir. Başlıca farklılıkları vermikülit birim hücre tabakaları arasında su içermesine karşılık, biyotit potasyum içermektedir.

Tablo 1’de dünyanın önemli vermikülit yataklarına ait vermikülit örneklerinin kimyasal bileşimleri verilmiştir.

Tablo 1. Bazı vermikülit yataklarının kimyasal bileşimleri (Esenli, 2012).

Bileşim -%-	A.B.D. Enoroce, SCWR	US Louisa, VA Virginia	G. Afrika Palabora	Brezilya, Piaui Eucatex	Türkiye	Ağırlığa göre %
SiO <sub>2</sub>	38.66	38.34	39.37	45.10	38.64	38-46
MgO	20.04	16.38	23.37	23.60	22.68	16-35
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.36	12.85	12.08	10.20	14.96	10-18
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.45	8.80	5.45	5.80	9.29	5-10
FeO	---	---	1.17	-	---	---
CaO	0.75	1.12	1.46	3.80	1.23	1-5
TiO <sub>2</sub>	---	1.66	1.25	0.70	---	1-3
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.50	0.23	---	---	---	---
Na <sub>2</sub> O	---	1.72	0.80	0.10	---	---
Li <sub>2</sub> O	---	0.01	0.03	---	---	---
BaO	0.12	---	---	0.20	---	---
MnO	0.07	0.14	0.30	---	---	---
H <sub>2</sub> O	8.71	10.66	11.20	10.20	5.29	8-16

MTA verilerine göre Türkiye’de vermikülit yataklarının varlığı fazla bilinmemekle birlikte jeolojik çalışmalar sırasında ofiyolit kuşaklarında vermikülit oluşumlarına rastlanmıştır. Şimdiye dek, saptanan en önemli vermikülit yatakları Sivas-Yıldızeli ve Malatya bölgelerindedir. Bunun dışında; Sivas-Gürün, Elazığ-Harpüt ve Kırşehir Keskin’de de küçük zuhurların varlığı ifade edilmektedir. Rezerv hesapları bu zuhurlarda 6-7 milyon ton muhtemel rezervin olduğunu göstermektedir. Sivas-Yıldızeli’ndeki vermikülit oluşumunun Türkiye’deki bilinen en büyük ve işletilen tek vermikülit yatağı olduğu ifade edilmektedir (Web\_1).

Belirtildiği üzere ahşap malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemeye ve iyileştirme yönelik farklı çalışmalar yapılmıştır. Bir dezavantaj olarak görülen yanma özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanan bu çalışmada vermikülit katkılı sert poliüretan malzeme ile MDF ve kontrplak ahşap kompozitlerin yüzeyi kaplanarak yanma, sertlik, elektromanyetik alan, kütle kaybı ve ısı geçirgenlik özellikleri araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

MDF optimum yoğunluk, kusursuz yüzey yapısı, dengeli lif dağılımı ve mükemmel işleme özellikleri gibi bir çok özelliği birlikte taşıması mümkün olan ahşap malzemelerden birisidir. Bu nedenlerden ötürü MDF olarak TS EN 622-5 ahşap esaslı levhalar standardına uygun sertifika almış olan, AGT Ağaç Sanayi ve Tic. A.Ş. temin edilen ham MDF kullanılmıştır.

Kontrplağın fiziksel yapısı kalitesine ilişkin önemli ipuçları taşır. Ürün açısında ve gönyesinde olmalı, kalınlıkları tutarlı, katmanları düzgün, yüzeyi pürüzsüz olmalıdır. Kullanılan ağacın nem miktarı ideal olarak %10 civarında olmalıdır. Nem miktarının fazla olması durumunda, kullanımda ve dış mekânlarda sorun çıkabilir. Tüm bu etkenlerde göz önünde bulundurularak ALUÇ Orman Ürünleri Pazarlama ve Tic. Ltd. Şti. firmasına ait kontrplak kullanılmıştır.

OSA Kimya tarafından üretilmiş ve Tablo 2’de özellikleri verilmiş polyol POL SENTA 77 ve izosiyonat olarak ta ISONAT 200 kullanılmıştır.

Tablo 2. Poliüretan bileşenine ait özellikler

	Birim	POL SENTA 77	ISONAT 200
Yoğunluk / 25 °C	g/cm <sup>3</sup>	1,00-1,15	1,10-1,20
Viskosite / 25 °C	mPas	350-450	250-350
Karışım oranı	Ağırlıkça	100 : 100 ±2	
Krema zamanı / 22 °C	sn	35-40	
Jelleşme zamanı / 22 °C	sn	95-105	
Bitiş zamanı / 22 °C	sn	120-145	
Tam kürleşme	saat	24	

Deneylerde kullanılan Vermikülit Sivas-Yıldızeli yöresinde, Organik Madencilik A.Ş.’den temin edilmiştir. Vermikülite ait fiziksel özellikler Tablo 3’de, kimyasal özellikler Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 3. Vermikülite ait fiziksel özellikler

Fiziksel durum	Katı
Form	Aşındırıcı olmayan pullar
Renk	Altın-gri-kahverengi
pH (su bulamacında, 20 °C)	7,0-9,0
Erime sıcaklığı	1350 °C
Yoğunluğu (ham)	~ 800 kg/m <sup>3</sup>
Yoğunluğu (pul pul)	~ 85 kg/m <sup>3</sup>
Parçacık büyüklüğü (kaba)	-12/+2,8 mm
Parçacık büyüklüğü (orta)	-4/+1,4 mm
Parçacık büyüklüğü (ince)	-2/+0,71 mm
Parçacık büyüklüğü (Süper ince)	-1,0/+0,355 mm

Tablo 4. Vermikülite ait kimyasal özellikler

Bileşim	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
%	33,96	14,81	12,94	10,93	8,49	2,17	0,26	4,10	0,19

Organik madencilik tarafından üretilen vermikülit, genişletme işleminden sonra kaba, orta, ince ve süper ince olarak 4 farklı boyutta sınıflandırılmaktadır. Çalışmalarımızda süper ince boy vermikülit kullanılmıştır.

## 2.2. Yöntem

Ağırlıkça 1:1 oranında karıştırılan polyol ve diizosiyonatın tamamının ahşap kompozit malzemelerin yüzeyine dökülebilmesi için plastik bir silindir piston düzeneği kullanılmıştır. Ahşap kompozit malzemelerin etrafı Poli Vinil Clorür (PVC) malzeme ile kalıba alınmıştır. Kimyasalların belirli bir kremleşme zamanı ve reaksiyona girme zamanı vardır. Bu süreler dikkate alınarak üretimler yapılmıştır. Polyol ve diizosiyonatın piston silindir düzeneği içine alındıktan sonra 1500 d/dk dönme hızında 40 sn kadar karıştırma işlemi yapılmıştır. Daha sonra 100 sn olan reaksiyon başlangıç süresi içinde daha önceden hazırlanmış kalıplara dökülerek üretim işlemi gerçekleştirilmiştir. Katkı malzemesi olan vermikülitin yapı içinde homojen bir şekilde dağılımının sağlanması önemlidir. Bunun için polyol üzerine diizosiyonat eklenmeden önce toplam kütleinin %5 ağırlığınca vermikülit katkılıdır. 30 sn kadar karıştırma işlemi yapıldıktan sonra diizosiyonat eklenerek üretim gerçekleştirildi. Bu işlemler %10 vermikülit katkılı poliüretan ve kontraplak malzeme için tekrarlanmıştır.

Ham, sert poliüretan kaplı ve vermikülit katkılı sert poliüretan kaplı malzemelerin üretim sonrası görüntüleri Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Üretilen ahşap kompozit malzemeler

Mühendislik uygulamalarında çeşitli alanlarda kullanılan malzemelerin yanma ve alev hızlarını belirlenmesi gerekmektedir. Bu anlamda çeşitli tutuşma ve yanma testleri uygulanmaktadır (Tuzcu, 2010). Bu çalışmada üretilen sert poliüretan kaplı ahşap



malzemelerin yanma ve tutuşma davranışlarının belirlenmesi için TSE EN ISO 11925-2 standardına göre tek kaynaklı alev testi uygulanmıştır. Bu standard düşey konumdaki deney numunelerinin sıfır ışıma etkisi altında doğrudan küçük bir aleve 15-30 sn maruz bırakılmak suretiyle yapı mamullerinin yanabilirliğinin tayini için uygulanan bir yöntemi kapsar. (Web\_2). Yanma testi cihazı Şekil 2’de görülmektedir.

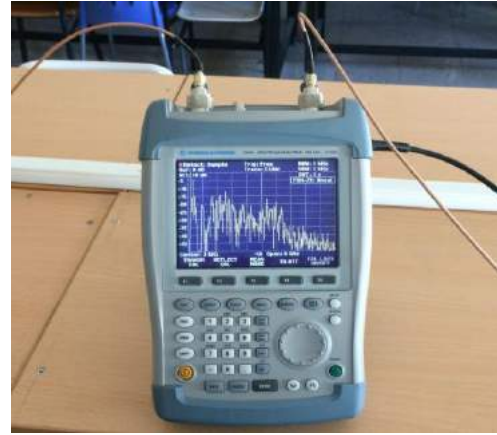


*Şekil 2. Tek alev kaynaklı yanma testi cihazı*

Sertlik ölçümünde TSE EN 1534 standardı kullanılmış olup, Brinell sertliği 10 mm çaplı bilye, 3000 kg yükü 30 saniye süre ile malzeme üzerine bastırılır. Kuvvet, küresel yüzey alanına bölünerek Brinell sertlik değerleri tespit edilir (Heräjärvi, 2004; Ramesh et al., 2015). Bu çalışmada vermikülit katkılı poliüretan kaplı ahşap malzemelerin yüzey sertlik değerleri Misawa Seiki Marka sertlik ölçüm cihazı ile belirlenmiştir. Sertlik ölçme cihazı Şekil 3’te görülmektedir. Elektromanyetik alan ölçümleri ise 100 kHz - 6 GHz aralığında ölçüm yapan Rohde&Schwarz Spectrum Analyzer ile yapılmış olup ölçüm cihazı Şekil 4’te görülmektedir.



*Şekil 3. Sertlik ölçme cihazı*



*Şekil 4. Elektromanyetik ekranlama etkinliği ölçüm cihazı*

Kütle kaybı ve ısı geçirgenlik oranlarının belirlenmesi amacı ile alev kaynağı, numune tutma aparatı ve kızılötesi lazer termometreden oluşan Şekil 5’te görülen deney düzeneği kullanılmıştır. Deney numuneleri 10 cm x 10 cm boyutlarında hazırlanmıştır. Toplam deney süresi 300 saniyedir. Deney süresi boyunca numunelerin arka yüzeyinin sıcaklığı 30 saniyelik periyotlarla kızılötesi lazer termometre ile ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Aynı zamanda numunelerin yanma süresinde yanma olayından ne kadar etkilendiklerini ve kütle kaybını % olarak belirlemek amacıyla ilk ağırlıkları ve son ağırlıkları tartılmış, yanma derinliği ve yanma çapı değerleri tespit edilmiştir.



Şekil 5. Kütte kaybı ve ısı geçirgenlik test düzeneği

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

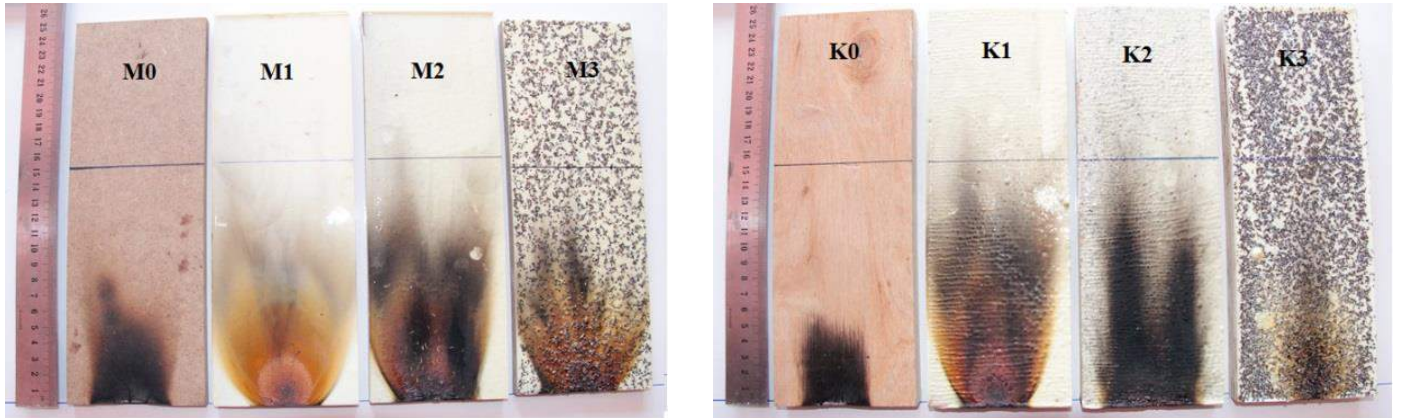
Üretimi gerçekleştirilen numunelerin deney sonuçlarının açıklanması daha kolay olması bakımından Tablo 5'deki şekilde isimlendirilmesi yapılmıştır.

Tablo 5. Hazırlanmış numunelerin isimlendirilmesi

Kısaltma	Açıklama	Kısaltma	Açıklama
M0	Ham MDF	K0	Ham Kontrplak
M1	Yüzeyi sert poliüretan kaplı MDF	K1	Yüzeyi sert poliüretan kaplı Kontrplak
M2	Yüzeyi %5 vermikülit katkıli sert poliüretan kaplı MDF	K2	Yüzeyi %5 vermikülit katkıli sert poliüretan kaplı Kontrplak
M3	Yüzeyi %10 vermikülit katkıli sert poliüretan kaplı MDF	K3	Yüzeyi %10 vermikülit katkıli sert poliüretan kaplı Kontrplak

#### 3.1. Yanma Direncinin Belirlenmesi

Hazırlanan numuneler yanma testine tabi tutmadan önce 9 cm x 25 cm boyutlarında kesilmiştir. Yapı malzemelerinin alev doğrudan maruz kaldığında yangın dayanımlarının belirlenmesinde kullanılmakta olan TSE EN ISO 11925-2 standardında yapılan yanma testi sonucunda ahşap kompozit malzemelerin yanma davranışları Şekil 6'te görülmektedir. Şekil 6'ya göre malzemelerin tamamında alevin 150 mm çizgisine ulaşmadığı görülmektedir. Bu sonuca göre malzemenin DIN 4102 standardına göre yangına tepki sınıfı B2 (Normal alevlenir malzeme) olarak kabul edilmektedir.



Şekil 6. Ahşap kompozit malzemelerin tek alev kaynaklı yanma testi

#### 3.2. Sertlik Değerinin Belirlenmesi

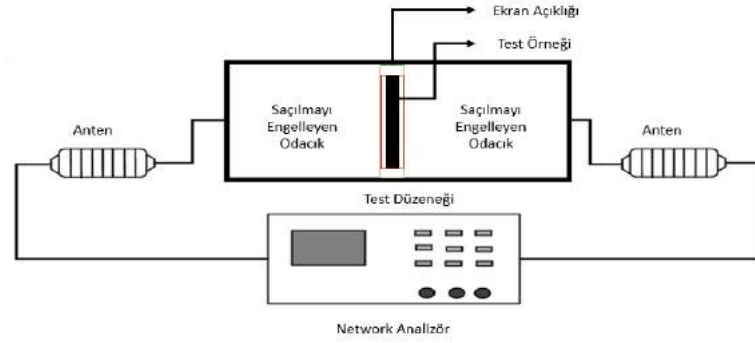
Sertlik ölçme genellikle, konik veya küresel standart bir ucun malzemeye batırılmasına karşı malzemenin gösterdiği direnci ölçmekten ibarettir. Uygun olarak seçilen sert uç, tatbik edilen bir yük altında malzemeye batırıldığında malzeme üzerinde bir iz bırakacaktır. Genel deyimle malzemenin sertliği, bu izin büyüklüğü ile ters orantılıdır (Yüksel, 2003). 10 cm x 10 cm boyutlarında kesilen numunelerin yüzey sertlik değerleri Misawa Seiki Marka sertlik ölçüm cihazı ile Brinell cinsinden belirlendi. Bu değerler sertlik ölçüm cihazı üzerinde bulunan dönüşüm tablosu kullanılarak Rockwell sertlik değerlerine dönüştürülmüştür. Elde edilen Brinell ve Rockwell sertlik değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Malzemelerin yüzeyine poliüretan kaplama malzemenin katılanması sertlik değerini artırmıştır. Vermikülit katkıli poliüretan ile kaplanmış malzemelere bakıldığında katkılama ile kontrplak malzemelerin sertlik değeri artarken MDF kaplı malzemelerin sertlik değerleri azalmıştır. ve Rockwell cinsinden

Tablo 6. Sertlik değerleri

	ROCKWELL	BRINELL		ROCKWELL	BRINELL
M0	25	55	K0	4	34
M1	62	92	K1	8	38
M2	20	50	K2	11	41
M3	20	50	K3	16	46

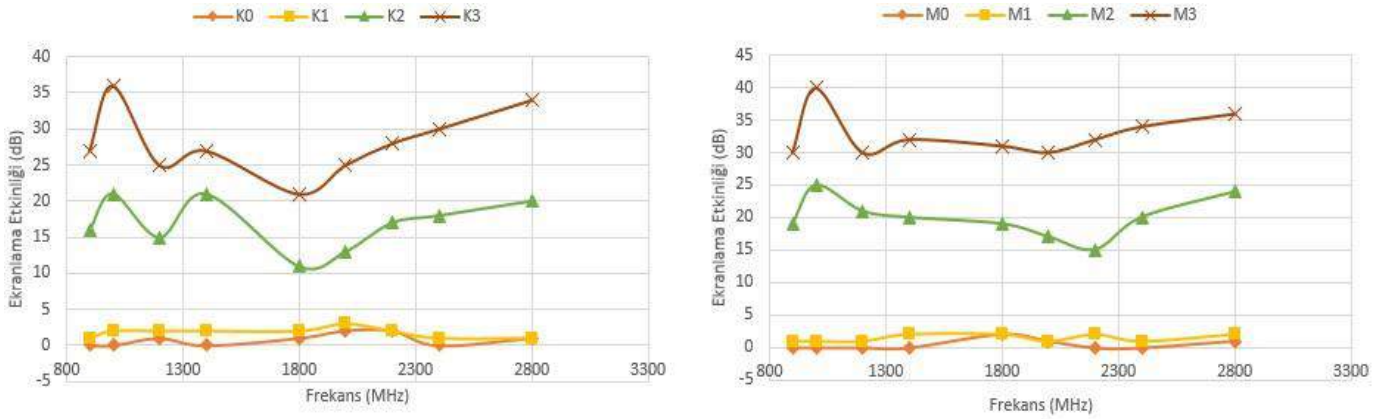
### 3.3. Elektromanyetik Ekranlama

Çeşitli iletken bileşikler ile işlem gören ahşap kompozit malzemeler yüksek ekranlama özelliği ve kolay endüstrileşme özelliği nedeniyle yaygın kullanıma uygundur. Teknolojik gelişmeler ile birlikte artan elektromanyetik kirlilik insan sağlığını tehdit etmektedir. Elektromanyetik alana uzun süre maruz kalındığında dokulara zarar vermekte ve zamanla kansere sebep olmaktadır (Zamanian ve Hardiman, 2005; Keangin et al., 2013). Elektromanyetik alanın istenmeyen zararlarından korunmak zorunluluk haline gelmiştir. Şekil 7’de çalışmada kullanılan elektromanyetik ekranlama deney düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 7. Elektromanyetik ekranlama için şematik deney düzeneği

Deneylerde 3,4 cm x 7,2 cm boyutlarında numune kullanılmıştır. Şekil 8’de ölçüm sonuçları verilmiştir.



Şekil 8. Elektromanyetik ekranlama etkinliği ölçüm sonuçları

Elektromanyetik ekranlama etkinliği ölçüm sonuçları sonucunda bulunan bulgular maddeler halinde aşağıda verilmiştir:

- Yapılan deneylerde katılan maddelerin ekranlamaya olumlu etkisi olduğu tespit edilmiştir. Deneylerde ölçüm yapılan frekanslarda ağırlıkça katılma oranı arttıkça ekranlama özelliği artığı görülmüştür.
- Bu sonuç malzemenin ekranlama performansının, o malzemenin iletkenliği ile doğrudan ilgili olduğunu ortaya koymaktadır. Sonuç olarak malzeme iletkenliği arttıkça ekranlama artar.
- Elektromanyetik alan ölçümleri sonucunda M3 malzemesinin ekranlama etkinliği standartlar dâhilinde bulunmuştur. K3 malzemesi ise 900 MHz’de ve 2400-2800 MHz aralığında standartlar dâhilinde ekranlama yapmıştır.
- Etkin ekranlama değeri 30 dB ve üzeri olması gerekip, M3 ve K3 dışındaki ahşap kompozit malzemelerin elektromanyetik ekranlama etkinliği Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection – ICNIRP) standartlarına göre vasat ekranlama olarak tespit edilmiştir.

### 3.4. Kütle Kaybı ve Isı Geçirgenlik

Yanma senaryolarından alev içinde kalmış bir malzemenin yanma davranışını araştırabilmek amacıyla DIN 4102 ve TS EN 13823 standardına göre dikey konumlandırılmış bir malzeme 20 mm mesafeden doğrudan alev maruz bırakılmaktadır. Deney süresi 300 sn’de sınırlandırılmıştır. 300 sn deney süresi boyunca her 30 sn’de numunenin ön ve arka yüzeyinde oluşan sıcaklık değerleri ölçülmüştür. 10

cm x10 cm boyutlarındaki numeneler deneye başlamadan önce ve deney sonrası tartılarak kütle kaybı değerleri % olarak belirlenmiştir. Zamana bağlı olarak arka yüzeye aktarılan sıcaklık derecesi ve kütle kaybı Tablo 7’de belirtilmiştir. Ayrıca deney sonrası numune yüzeyinde oluşan değişiklikler (yanma çapı, yanma derinliği, kül oluşumu) gözlenmiş ve vermikülit katkılı poliüretan kaplı ahşap kompozit malzemeler de oluşan değişiklikler Şekil 9’da belirtilmiştir.

Tablo 6. Ahşap kompozit malzemelerin kütle kaybı ve ısı geçirgenlik değerleri

Yanma süresi (sn)	Arka yüzey sıcaklığı (°C)							
	M0	M1	M2	M3	K0	K1	K2	K3
0	18,8	18,0	19,0	20,0	21,3	21,4	21,3	21,0
30	24,9	21,3	22,6	21,3	21,3	25,0	23,4	20,8
60	35,3	31,0	32,6	24,1	23,2	26,0	24,4	23,1
90	69,2	89,0	54,7	33,0	23,7	27,3	30,7	25,7
120	76,6	89,3	77,0	53,1	25,5	26,3	27,1	25,5
150	81,9	93,8	82,0	78,0	27,7	26,2	27,4	32,0
180	78,9	93,4	90,1	80,0	31,3	26,9	32,0	29,0
210	80,6	91,7	89,7	83,0	36,9	30,0	36,0	27,7
240	86,0	96,3	85,2	82,6	43,8	36,0	40,0	31,5
270	104,0	97,5	77,6	83,0	50,3	36,1	45,0	34,0
300	170,0	109,8	90,0	77,4	55,8	38,0	45,9	42,0
Ön yüzey sıcaklığı ort. (°C)	290	265	270	257	313	362	317	262
İlk ağırlık (gr)	59,13	71,54	66,35	74,93	74,87	92,30	82,85	99,81
Son ağırlık (gr)	36,63	53,51	52,91	60,17	62,70	76,84	70,53	83,00
Kütle kaybı (%)	38,05	25,20	20,26	19,70	16,25	16,75	14,87	16,84



Şekil 9. Vermikülit katkılı poliüretan kaplı ahşap kompozit malzemelerin yanma davranışları

#### 4. Sonuç

Sonuç olarak ahşap malzemelerin yanma, çizilme ve bazı fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi için vermikülit katkılı sert poliüretan kaplanması yapılan bu çalışmada;

- Hem MDF hem de kontrplak malzemelerin yanma dirençlerinde iyileşmeler tespit edilmiştir.
- Yüzeye kaplanan malzemelerin sertlik değerleri saf poliüretan kaplamaya oranla kontrplak malzemelere yapılan kaplamalarda artarken MDF yüzeyine yapılan kaplamalarda azalmıştır.
- Elektromanyetik ekranlama ölçüm değerlerinin, ham malzemelere oranla daha olumlu yönde bir iyileştirme yaptığı tespit edilmiştir. M3 ve K3 dışındaki malzemelerin elektromanyetik ekranlama performansı vasat ekranlama olarak tespit edilmiştir.
- Kütle kaybı incelendiğinde M0 malzemede %38,05 iken M3 malzemede %19,70 oranındadır. Sonuç olarak %19 gibi bir iyileşme sağlanmıştır.
- Isıl geçirgenlik değerleri incelendiğinde M0 malzemede arka yüzey sıcaklığı maksimum 170 °C değerine ulaşmışken M3 malzemede maksimum 77,4 °C değerinde kalmıştır.



- Vermikülit katkılanmanın kütle kabı ve ısıl geçirgenlik bakımından kontrplak malzemelerde istenilen özelliklere olumlu katkı sağlamadığı belirlenmiştir.

## Kaynakça

- A.D. Macheca, W.W. Focke, M. Kaci, B. Panampilly, R. Androsch, “Flame Retarding Polyamide 11 With Exfoliated Vermiculite Nanoflakes”, *Polymer Engineering And Science*, 1746-1755, 2018. DOI 10.1002/pen.24775
- A. İstek, D. Aydemir, H. Eroğlu, “Combustion Properties of Medium-density Fiberboards Coated by a Mixture of Calcite and Various Fire Retardants”, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 37(5): 642-648, 2013.
- A. İstek, K. Muğla, S.M. Onat, “ The Effects of Different Overlays on the Surface Properties of MDF Panels”, *Journal of Bartın Faculty of forestry*, 18(2):121-125, 2016. DOI: 10.24011/barofd.267303
- A., Zamanian, C., Hardiman, “Electromagnetic Radiation and Human Health: A Review of Sources and Effects”, *High Frequency Electronics*, 4(3): 16-26, 2005.
- B.C. Bal, Z. Gündeş, E. Akçakaya, “Kavak, Kayın ve Okaliptüs Kaplamaları ile Üretilen Kontrplakların Vida Tutma Direncinin Araştırılması”, *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(2):77-83, 2015.
- F. Özdemir, A. Ayaz, “Investigation of the Effect on Combustion Resistance of Ammonium Polyphosphate and Boric Acid Chemicals Added to Surface Coating”, *Kastamonu Uni., Orman Fakültesi Dergisi*, 17 (2): 290-297, 2017. Doi: 10.17475/kastorman.310967
- F. Özdemir, A. Tutuş, “Effects of Coating with Calcite Together with Various Fire Retardants of on the Fire Properties of Particleboard”, *BioResources*, 11 (3):6407-6415, 2016.
- H. Binici, “Atık Mukavva, Alçı, Pomza, Perlit, Vermikülit ve Zeolit ile Yapılan Kompozitlerin Yangın Direncinin Araştırılması”, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(1):1-10, 2016.
- H. Heräjärvi, “Variation of Basic Density and Brinell Hardness within Mature Finnish Betula Pendula and B. Pubescens Stems”, *Wood and Fiber Science*, 36(2):216–227, 2004.
- H. Tuzcu, “Isı Yalıtımı ve Otomotiv Endüstrilerinde Kullanılan Yanmaya Dirençli Poliüretan Esaslı Malzemelerin Tutuşma ve Yanma Karakteristiklerinin Deneysel İncelenmesi” *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, 31-32, 2010.
- M. Erdem, E. Akdoğan, M. E. Üreyen, O. Uysal, M. Kaya, C. Irmak, “Yumurta Kabuğu Tozu Katkılanmış Sert Poliüretan Köpükler: Termal İletkenlik, Basma Mukavemeti ve Yanma Davranışlarının İncelenmesi”, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 38, 1,83-93, 2018.
- M. Yüksel, “Malzeme Bilimleri Serisi Cilt-1”, *TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Yayın no: MMO/2003/271/2*, 21-22, 2003.
- P., Keangin, K. Vafai, P. Rattanadecho, “Electromagnetic Field Effects on Biological Materials”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 65: 389-399, 2013.
- R.S. Ramesh, S. Kanakuppi, L.S. Sharanaprabhu, “Study of Hardness and Impact Behaviour of Phenol Formaldehyde Based Wood Plastic Composite”, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) NCERAME-Conference Proceedings*, 167-172, 2015.
- T.U. Patro, G. Harikrishnan, A. Misra, D.V. Khakhar, “Formation and Characterization of Polyurethane—Vermiculite Clay Nanocomposite Foams”, *Polymer Engineering And Science*, 1778-1784, 2008. DOI 10.1002/pen.21145
- T. Zhang, F. Zhang, S. Dai, Z. Li, B. Wang, H. Quan, Z. Huang, “Polyurethane/organic Vermiculite Composites with Enhanced Mechanical Properties”, *J. Appl. Polym. Sci.* 43219:1-7, 2016. DOI: 10.1002/APP.43219
- V. Esenli, “Vermikülit”, *Madencilik Rehberi*, (2012).
- Y. Örs, G. Çolakoğlu, İ. Aydın, S. Çolak, “Kayın, Okume ve Kavak Soyma Kaplamalarından Farklı Kombinasyonlarda Üretilen Kontrplakların Bazı Teknik Özelliklerinin Karşılaştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 5 (3): 257-265, 2002.
- W.J. Seo, J.H. Park, Y.T. Sung, D.H. Hwang, W.N. Kim, S.H. Lee, “Properties of Water-Blown Rigid Polyurethane Foams with Reactivity of Raw Materials”, *J. Appl. Polym. Sci.*, 93, 2334-2342, 2004.
- Web\_1: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/vermikulit> (Erişim tarihi: 17.02.2019)
- Web\_2: Türk Standartları Enstitüsü, <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055047105102120088111043113104073083115052068070106121074055102090> (Erişim tarihi: 22.02.2019)





# Perspektif Yaklaşımı ile Çalışma ve Depolama Alanında Hareket Takibi\*

Kadir Hıdımoğlu<sup>1</sup>, Lale Özyılmaz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik - Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, Elektronik Doktora Öğrencisi, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2258-0224), [kadirhidimoglu@hotmail.com](mailto:kadirhidimoglu@hotmail.com)

<sup>2</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik - Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, Elektronik Dr. Öğr. Üyesi, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9720-9852), [ozyilmaz@yildiz.edu.tr](mailto:ozyilmaz@yildiz.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 3 Eylül 2019 ve Kabul Tarihi 27 Eylül 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.614759)

\*This article is produced from unpublished doctoral dissertation on "Human and Vehicle Analysis on Construction Site".

**ATIF/REFERENCE:** Hıdımoğlu, K. & Özyılmaz, L. (2019). Perspektif Yaklaşımı ile Çalışma ve Depolama Alanında Hareket Takibi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 215-223.

## Öz

Çalışma sahasındaki iş güvenliği, yalnızca kazalar sonrası tedbirleri almak değil kazaya sebebiyet verecek durumların önceden belirlenerek önlemine almaya çalışmaktır. Görüntü işleme teknikleri, kayıtlı görüntüler veya anlık görüntüleri tekrar işleyerek istenilenler doğrultusunda yeniden görselleştirme işlemidir. Bu sebeple görüntü işleme teknikleri ile çalışma sahasında kaydedilmiş veya canlı görüntüler üzerinde işçilerin ve diğer nesnelerin takibi yapılarak iş güvenliğini sağlamaya yönelik bir uygulama gerçekleştirilebilir. Gerçekleştirilmek istenilen amaç oluşabilecek iş kazalarının önüne büyük ölçüde geçmeye çalışmak aynı zamanda kişi ve araç analizi ile birden çok algoritma ve özelliğin kullanımını sağlamaktır. Çalışmada matematiksel algoritmaların yoğunluğu sebebiyle Matlab yazılım programı uygun görülmüştür. Bu yazıda yeni çift taraflı ve uyarlamalı perspektif yöntemlerinin eklenmesiyle bir hareket izleme algoritması uygulanmıştır. Bu yazının temel amacı, depolama ve inşaat alanlarındaki güvenlik sorunlarının çözülmesine yardımcı olacak bir hareket izleme algoritması önermektir. Önerilen algoritma ile şantiyede çalışan işçiler tespit edilir ve şantiyede güvenlik gereksinimlerine tamamen uygunluğu kontrol edilir. Detaylı algoritma açıklamaları makalenin metodoloji bölümünde bulunabilir. Canlı olarak alınan görüntü Matlab ortamında öncelikle filtreleme ve görüntü temizleme işlemleri gibi temel görüntü işleme teknikleri ile hazır hale getirilmiş ve sonrasında görüntüde hareket takibi için nesne bulma ve sınıflandırma işlemlerine tutulmuştur. Nesnenin düzgün bir şekilde bulunmasının ve takibinin ön işlemler ile daha başarılı olduğu görülmektedir. Çalışılan ortamın ışıklılık durumları ve hava koşulları ile hareketli veri yoğunluğu doğruluğu etkileyen önemli faktörlerdendir. İlk aşama olarak işçilerin belirlenmesi basit sınıflandırma teknikleri kullanılarak yapılmıştır. Bu sınıflandırma kriterleri metodoloji bölümünde açıklanmıştır. Sınıflandırma işlemi dört adımda hareket takibi için insan veri kümesini sağlamıştır. Baret takmayan ya da yelek giymeyen ihlale sebep olan saha çalışanları "-" olarak tanımlanıp kurallara uyanlar "+" olarak görüntü üzerinde belirtilmiştir. Algoritmaların bu tip görüntüler üzerindeki performansı ve yapılan geliştirmeler sonucu son bölümde değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Görüntü işleme, Video işleme, Hareket takibi, Güvenlik, Çalışma sahası, Perspektif yaklaşımı.

## Motion Tracking in the Construction and Storage Area with Perspective Approach

### Abstract

Occupational safety in the work area is not only to take measures after accidents, but to try to take precaution by determining the situations that will cause the accident. Image processing techniques are the process of re-visualizing recorded images or snapshots according to the desired requirements. For this reason, by using image processing techniques, an application can be realized to ensure the safety of the work by following the workers and other objects on the recorded or live images in the worksite. The aim is to try to

<sup>1</sup> Corresponding Author: Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, Elektronik Doktora Öğrencisi, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0002-2258-0224, [kadirhidimoglu@hotmail.com](mailto:kadirhidimoglu@hotmail.com)

avoid work accidents that may occur to a large extent and also to provide the use of multiple algorithms and features with person and vehicle analysis. In the study, the Matlab software program was deemed appropriate due to the density of mathematical algorithms. In this paper a motion tracking algorithm with the addition of new double-sided and adaptive perspective methods have been implemented. The main purpose of this paper is to propose a motion tracking algorithm to help solving safety concerns at the storage and construction areas. With the proposed algorithm, workers on the work site are detected and they are checked if they comply with the safety requirements at the work site by using computers entirely. Detailed algorithm explanations can be found in the methodology part of the paper. The live image was prepared ready in Matlab environment by using basic image processing techniques such as filtering and noise cleaning processes and then it was subjected to object finding and classification for motion tracking in the image. Proper detection and tracking of the object seems to be more successful with preprocessing. Luminance conditions, weather conditions and moving data density are important factors that affect accuracy. As a first step, identification of workers was done using simple classification techniques. These classification criteria are explained in the methodology section. The classification process provided the human data set for motion tracking in four steps. Field workers who do not wear helmets or not wearing vests are defined as “-” and those who follow the rules are indicated as “+” on the image. The performance of the algorithms on this type of images and the results of the improvements are evaluated in the last section.

**Keywords:** Image processing, Video processing, Motion tracking, Safety, Construction site, Perspective approach.

---

## 1. Introduction

There are billions of people working in various works and workplaces and every job they have done and every brick they have put on the wall takes us forward. However; all these various works come down to one simple but important issue, safety. If a workplace cannot guarantee the safety of its workers or its customers, then the rest of the works has been done would be in vain. If the aviation industry didn't take the necessary steps after the disasters in the second half of the 20 th century, then flying would not be the safest transportation in the world. Therefore; in this work, we are addressing the safety issue in the construction and storage areas where the bigger machines operate and heavy materials are used. Any small mistake could easily cause catastrophic results in this type of workplaces and because of that, it is important to establish a surveillance system that is watching the work site. With advanced computational technology, it is known that a computer has the ability to administrate such a system. Therefore, having a worker in the surveillance system would be an ineffective use of resource management because it is not possible to maintain the focus that the computer has. Any small negligence by a worker could cause an injury or even the death of another worker in this kind of workplaces.

There are various uses of technology to do the job of mentioned safety observer. For example, depth sensors can be used to track the workers and machines or small chips which give warning in a hazardous situation can be used on the safety materials. However; we used a different method, image and video processing. There are also various methods which uses image and video processing; image and video processing with machine learning is one way of doing it for instance [1]. In machine learning, the workers and the machines can be taught to the system by using the past data. Some advanced image analysis techniques can be also used such a graph-cuts [2, 4] or active contours [5, 6]. However, we use much simpler tactics. First of all, we use the advantage of the stationary camera. Since it is stationary, the only motion we can see throughout the video is workers and machines. Therefore; if we can determine all the stationary pixels, we can find the background image of the video. This image can be used to detect the workers and machines. Then, we use some features which are specific to the materials, workers, and machines to separate each one from another. After finding each separate object, we can observe if these objects comply with the regulations or not [7].

## 2. Image Processing

Before talking about the methodology, we provide some background information about images and image and video processing. The image-based image processing technique developed in parallel with today's requirements has taken a remarkable path. Existing and developing techniques and studies in the field of image processing have shown their effects in almost every field and have guided science and future studies. With these techniques, digital image data has been transformed into different forms suitable for the purpose or applied to obtain the data suitable for the need in the image. Medical and biology, geographic sciences, aerospace, defense industry, physics, arts, biomedical applications and security technologies are among the most important of these fields.

Image processing applications consist of a series of multiple processes, not one, depending on the needs. Many algorithms such as edge detection, object tracking, object recognition, feature extraction, motion detection and speed flow are applied to the digital image in accordance with the desired purpose after noise clearing, histogram equalization and filtering operations on the existing image data. In other words, image processing is a process different from “signal processing”, which is the work of capturing and converting data after being measured and evaluated to another format or transferring it to another medium [8]. The digitized current image data is processed by the above-mentioned filtering, histogram equalization and noise clearance to create a clearer and more understandable set of operations than the existing data source before the algorithms. In the next step, image extraction and morphological processing and feature extraction and detection are performed. According to the feature information extracted in the last step, algorithms for segmentation and object recognition are performed in accordance with the purpose.

## 2.1. Image

Digital images consists of small pixels. Each pixel has color information. When pixels form a 2-dimensional group of pixels or in other words a matrix, it is called an image. As the number of pixels is increasing, this would mean there is more information in the matrix resulting in a sharper image. The pixels have 2 main properties; radiometric property, and geometric property. The geometric property gives information about the pixel's location in the matrix. The radiometric property has information about the color of the image. In grey images, each pixel has a tone of grey  $G=(0,1,2,\dots,255)$  with 0 equal to black and 255 equal to white. If these images are shown in sequence with a small time difference between them, it would form an image sequence which is called a video.

## 2.2. RGB Color Space

We mentioned the radiometric property of the pixels and what does it mean in the grey image context. However, these pixels could also have other color information other than grey-tones. In this case, the color information is not taken from a single vector like in the case of grey images. Instead, there are 3 (1x256) vectors for each Red, Green and Blue tones. Red-only, green-only, and blue-only tones can be obtained from a single vector but to represent other colors, the mixture of these 3 vectors are used [9].

## 2.3. Image Filters

There are some transformation matrices that can change the shape of image matrices, also called as filters. These filters are generally used to obtain the desired images. For example; to get rid of image noise or to guess a hidden property of an image, filters are used.

## 3. Methodology

### 3.1. Background Extraction

As we have mentioned above, we use the advantage of stationary cameras. Since the stationary cameras are used, all of the pixels with the same geometric property in an image sequence would also have the same radiometric property. However, if some of those pixels contain information about a moving object, their radiometric values may differ. Since the movement happens faster, we would expect that the pixels' radiometric value to stay the same most of the time for pixels with the same geometric property and this value would give us the background image's radiometric value for the given geometric value. Thus, if we observe the behavior of pixels with the same geometric property in an image sequence, we can find the radiometric value of the corresponding background image's pixel. Doing this step for every geometric value would give the whole background image theoretically [10, 11]. However, sometimes it may not be the case and a worker could stay where he is for a long time which can confuse the system. To overcome this, background extraction should not be measured over a short time period but the long time period.

We can denote the video pixels as a function of  $u, v$  and  $t$ ;

$$pixel = g(u, v, t) \quad (1)$$

where  $u$  and  $v$  corresponds to the horizontal and vertical location of the image and  $t$  is time. We need to take sample image sequence between pre-determined time points,  $t_0, t_1$

$$videosample = \sum_{t=t_0}^{t_1} g(u, v, t) \quad (2)$$

After taking the sample, we should look at every pixel sequence to determine which one is the most used or in other words background pixel. To do this calculation we can use a statistical mod for each pixel sequence in time. Then, we can construct the background image,  $b(u, v)$  :

$$b(u_i, v_j) = mod(g(u_i, v_j, t)) \quad (3)$$

### 3.2. Background Subtraction

This step could be seen as a very straightforward subtraction but with a small mistake, the desired information could be deleted. If we subtract the image from one sample image from the video we would get another image which is meaningless to the eye. However, it contains the information we need.

After the subtraction, the image will have pixels with both high and low intensities. The higher ones will most likely belong to the moving objects but the problem is separating the lower ones. We used adaptive thresholding to overcome this problem. There are two conditions for a pixel to determine whether the pixel belongs to the moving object or the background. For a sample image  $s(u, v)$  and the background image  $b(u, v)$  the calculations is as follows:

$$dist = \sqrt{\sum_{k=1}^3 b((u_i, v_j, k) - s(u_i, v_j, k))^2} \quad (4)$$

$$c1 = dist > \tau \sum_{k=1}^3 b(u_i, v_j, k) \quad (5)$$

$$c2 = dist > \tau_0 \quad (6)$$

Where  $\tau_0$  is a static threshold and  $\tau$  is an adaptive threshold. If both  $c1$  and  $c2$  are true, then it belongs to the moving object and if not, then the pixel belongs to the background. Thus we can obtain black and white or in other words binary image. Where the moving object's pixels are white and the background is black. Some small group of pixels may be thought to belong to the background inside the moving object. However, it is not a big problem since dilation and erosion filters can eliminate these small groups easily if the object is not entirely wrong.

### 3.3. Classification of Moving Objects

After obtaining the moving object with the methods mentioned above, the next step is separating the people or the workers from the machines and the materials. Since the shape of the people is very specific, several sub-methods related to the shape of the objects are used. Before explaining the methods, it should be noted that the objects are marked with rectangles.

1. The first method is to determine if the rectangle is big enough to represent a human. Some small objects can be eliminated easily with this method.

$$c1 = length(rectangle) > \tau_2 \quad (7)$$

$\tau_2$  is the size threshold. 1 is an example to show how this method works.



Figure 3.1. An example screenshot for size classification.

Depending on Figure3.1, object in the middle satisfy all the condition for it to be human; however, its size is below the threshold. Therefore it is classified as an object.

2. The second method is to determine if the aspect ratio is similar to a human's aspect ratio.

$$c2 = \tau_3 > height(rectangle)/width(rectangle) > \tau_4 \quad (8)$$

$\tau_3$  is the higher and  $\tau_4$  is the lower threshold. Since human's aspect ratio can neither be too large or too small, we use two threshold. 2 is an example to show how this method works.

3. The third method is looking at the rectangle's area and the object's area and comparing them. Since the shape of the human body is very close to a rectangle, both area should not be too different but some materials might be. We can also eliminate some materials with this method 3 is an example to show how this method works.

$$c3 = area(object)/area(rectangle) > \tau_5 \quad (9)$$

$\tau_5$  is the area ratio threshold.

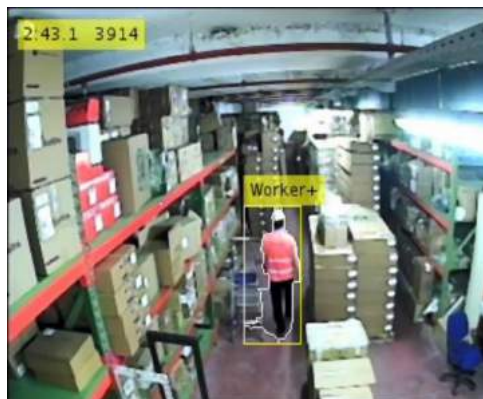


Figure 3.2. An example screenshot for aspect ratio classification.



It can be seen from the Figure 3.2. that the proportion of the rectangle enclosing the human is inside threshold limits. Its height is longer than its width which we expect from a human.



**Figure 3.3.** An example screenshot for area classification.

The object in the bottom of the Figure 3.3 is big enough to be human and its aspect ratio is also closer to the human's aspect ratio, longer height, shorter width. However, the object's area covers a small part of the rectangle. Therefore, it is classified as an object.

- The fourth method is a little more complex. If we cut half the rectangle, the area ratio will be similar to the area ratio we found in the previous method. If we cut half the rectangle into rect1 and rect2, the algorithm will be as the following.

$$c4 = \text{area}(\text{object1})/\text{area}(\text{rect1}) > \tau_5 \quad (10)$$

$$c5 = \text{area}(\text{object2})/\text{area}(\text{rect2}) > \tau_5 \quad (11)$$

The threshold is the same with the previous method 4 is an example to show how this method works.



**Figure 3.4.** An example screenshot for double-sided area classification.

The object in the bottom right of the Figure 3.4 is big enough to be human and its aspect ratio is also closer to the human's aspect ratio, longer height, shorter width. Object's area also covers the significant portion of the rectangle. However, when we cut the rectangle into half and study the new smaller rectangles separately, it can be seen that one of the rectangles fails the test. Therefore, the object is classified as an object. Consequently, we have 5 conditions and if all of them are true, then the object in question is most likely a human or worker in our case.

### 3.4. Safety of Workers

After separating the workers from other objects, there are two main criteria which the workers are expected to comply. One of them is a safety helmet and the other one is a safety vest. These vests and helmets are created with distinct colors to make human eye detection easier. Fortunately, this is proved to be useful for the computational algorithm as well since it makes the detection easier.

Obviously, the helmets are in the head part of human and the vests are in the middle part. Thus; if the rectangle enclosing the worker is cut laterally to four pieces, it can be assumed that the helmets will be in the upper rectangle and the vests are in the middle two rectangles. For the head part, we can take the upper rectangle or rect1 into account. We can apply an RGB threshold to find the number of pixels which is the same color as the helmet. As we mentioned before, the color of the helmet is so distinct that the desired pixels can be found easily even with rough thresholding. If the number of pixels exceeds the pixel threshold that is determined beforehand, it can be assumed that the worker is wearing a helmet.

$$Cij = \sum_i \sum_j ((\text{rect}(i, j, 1) > \tau_6) \times (\text{rect}(i, j, 2) > \tau_7)) \times \quad (12)$$



$$\times (\text{rect}(i, j, 3) > \tau_8) \quad (13)$$



**Figure 3.5.** An example screenshot for helmet detection.

The white pixels exceed the threshold and hence the confirmation for a helmet on Figure 3.5.



**Figure 3.6.** An example screenshot for helmet detection.

The white pixels cannot exceed the threshold and hence the confirmation for no helmet on Figure 3.6.

$\tau_6$ ,  $\tau_7$  and  $\tau_8$  are threshold values for red, green and blue respectively. If the number of true elements in the C matrix exceeds a certain threshold, we can assume that the worker is wearing a helmet. Figure 3.5 and 3.6 are examples to show how this method works.

The very same operation can be done but for the middle rectangles or in other words; rect2 and rect3. If the number of pixels exceeds a certain threshold, then we can assume that the worker is wearing a vest.

### 3.5. Perspective Approach

Another difficulty that we have encountered during the classification is the problems which stem from the collection of camera angle, size of the field and where the camera stands. When the moving object moves away from the camera its size which is perceived by the camera gets smaller. If the field is large enough, the worker who is moving away from the camera can be perceived as a small object and this may cause the worker to be classified as an object. This effect is widely known as perspective. Some sensitive thresholding may succeed when the in-question effect is in the formula but our aim is to increase the algorithm's robustness when the images get exposed to severe perspective effect. To overcome this difficulty we proposed two methods; double-sided perspective and adaptive perspective.

#### 3.5.1. Double-sided Perspective

This method is more simple to understand and implement. To reduce the effect of perspective, the image is cut laterally into two separate images which can be named as closer image and distant image. Doing the same processes as they are done in the "Methodology" section would be enough. All classification methods except size thresholding are relying on the ratios but the size threshold is using the pixel count directly. Due to this, all thresholds but the size one can stay the same but the size threshold should be arranged such that it can detect the worker both in the distant and the closer images.

#### 3.5.2. Adaptive Perspective

This method contains more computational complexity because we apply a different formula for every detected object unlike in the case of double-sided perspective which has only two different computation. In this method; for each object, a perspective coefficient is determined with the given formula:

$$\rho = d \times \alpha \quad (14)$$

where  $d$  is the distance between the object and the bottom of the image and  $\alpha$  is a video coefficient which varies from video to video. When we multiply the perspective coefficient with the size threshold, we can find the adaptive size threshold for the given object.

$$\tau_{new} = \tau_{old} \times \rho \quad (15)$$

By using this size threshold for the corresponding object, it can be found out that if the object is fulfilling the size requirements to be classified as a worker.

## 4. Results and Discussions

### 4.1. Results

In this section, we presented the results we have found in our works using our algorithm both in storage and construction areas. There are three screenshots which are taken from three different videos (Figure 4.1, 4.2, 4.3). Three videos are recorded from storage rooms and one video is recorded from a construction site.



Figure 4.1. Result 1



Figure 4.2. Result 2



Figure 4.3. Result 3

Sometimes workers' clothes may blend with the background and cause those workers not to be detected or they may stay where they are with minimal movements which confuse algorithm and makes the worker a part of the background image. Some drastic and continuous weather changes also cause some problems since the background image is also changing with the weather. These problems can be overcome with dynamic background subtraction and calibration on site.

Additionally; when the distance between the camera and the worker is long, the algorithm may ignore the worker since the minimum area requirement. If we lower the threshold, this time small objects closer to the camera would exceed the minimum area threshold which causes the system to identify the object as a worker.

The number of occurrences of this problem is considerably high so the perspective method was very useful in that regard. However, the double-sided perspective was running well enough so the adaptive perspective method may not be necessary to use every time, especially when the relevant area is rather smaller. Furthermore; the workers may disappear from the scene momentarily because some requirements fail during a very small amount of time. Our optimization approach to this problem also works well and the interruptions happen rarely.

As a result, the proposed algorithm works as expected with some minor flaws. There were some major problems in the algorithm and they are resolved with our perspective and optimization approaches.

## 4.2. Discussions

In this part, the problems which occurred after the methodology will be discussed.

First of all, the detected humans may vanish for a period of time even though it has been detected before. This stems from the thresholding. Even though a rectangle satisfies all thresholds, one or two thresholds may fail moments after. To fix this it is obvious that the time-dependent solution is required. When the worker is detected, the system puts a mark to the detection location. Even the detection disappears, the big moving object can be detected by the system in the background. If this object is very similar to the detected worker's image a frame before, the system will deduce that the big object is still a worker even though it fails some thresholds. By the help of this algorithm, splits during the videos can be minimized.

Another problem that is encountered frequently is when a worker gets close to another worker and form a single and much bigger object. However, we already know each individual worker before and the system can detect a decrease in the number of workers. The decrease in number means that the worker either leaves the scene or forms a bigger object with another worker. By analyzing each workers before-location, it can be found that if the worker left the scene or not. If the disappearing worker was at the near of the edge of the image and no one was there, it is obvious that the worker left the scene. If the disappearing worker was next to another worker and disappear mysteriously, it can be deduced that the two workers form a single and bigger object and analyzing the new rectangle knowing there are two workers.

### Algorithm 1 Algorithm Proposed in the Paper

- 1: Background image is extracted and subtracted
- 2: After subtraction erosion and dilation are applied
- 3: All object are enclosed with rectangles
- 4: 4 classification methods are applied to each objects at present using the perspective
- 5: Workers are detected
- 6: Safety requirements are controlled, checked if they are wearing safety equipment.

## **Acknowledgment**

I would like to thank to my esteemed jury members Prof. Dr. Tülay YILDIRIM, Asst. Prof. Dr. Arif DOLMA and Asst. Prof. Dr. Lale ÖZYILMAZ who guide me in the realization of the study with their thoughts.

## **References**

- [1] Jia X. Image recognition method based on deep learning, Chinese Control And Decision Conference 2017; 29: 4730-4735.
- [2] Shi J, Malik J. Normalized Cuts and Image Segmentation, IEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 2000; 8: 888-905.
- [3] Wang S, Siskind J M. Image Segmentation with Ratio Cut, IEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 2003; 6: 675-690.
- [4] Ford L, Fulkerson D. Flows in Networks. Princeton, NJ, USA: Princeton University Press, 2016.
- [5] Kaas M, Witkin A, Terzopoulos W. Snakes - Active Contour Models. International Journal of Computer Vision 1987; 1: 321-331.
- [6] Williams DJ, Shah M. A Fast Algorithm For Active Contours And Curvature Estimation. CVGIP: Image Under-standing 1992; 1: 14-26.
- [7] Barbieri AL, de Arruda GF, Rodrigues FA, Bruno OM, Costa LdF. An entropy-based approach to automatic image segmentation of satellite images. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 2009; 3: 512-518.
- [8] Gonzalez R. C., Woods R. E. (2007). Digital Image Processing, 3th Ed., (pp. 1-7), A.B.D., New Jersey : Prentice Hall.
- [9] Yılmaz I. Renk Sistemleri, renk uzayları ve d"onu"sümler. In: Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği O" gretiminde 30. Yıl Sempozyumu; 16-18 October 2002; Konya, Turkey; pp. 340-350.
- [10] Cheung SS, Kamath C. Robust techniques for background subtraction in urban traffic video. ISandT/SPIE's Symposium on Electronic Imaging 2004; 18-22 January 2004; San Jose, CA, USA; pp. 881-892.
- [11] Bobick A, Davis J. The Recognition of Human Movements Using Temporal Templates. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 2001; 3: 257-267.
- [12] Benezeth Y, Jodoin PM, Emile B, Laurent H, Rosenberger C. Review and evaluation of commonly-implemented background subtraction algorithms. In: 19th International Conference of Pattern Recognition 2008; 8-11 December 2008; Tampa, FL, USA: IEEE. pp. 192-199.
- [13] Yılmaz, A., Javed, O. ve Shah, M. (2006) Object tracking: A survey, ACM Comput. Surveys, 38(4), Article 13, 45p, doi: 10.1145/1177352.1177355.
- [14] Karasulu, B. (2010) Videolarda Hareketli Nesne Tespiti Ve Takibi İçin Benzetimli Tavlama Tabanlı Bir Başarım Eniyileme Yaklaşımı, (Doktora Tezi), Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [15] Benezeth, Y., Jodoin, P.M., Emile, B., Laurent, H. ve Rosenberger, C. (2008) Review and evaluation of commonly-implemented background subtraction algorithms, In: In 19th Int. Conf. of Pattern Recognition, (ICPR 2008), 1-4, doi: 10.1109/ICPR.2008.4760998.
- [16] Cheung, S.-C. ve Kamath, C. (2004) Robust techniques for background subtraction in urban traffic video, Video Communications and Image Processing, SPIE Electronic Imaging, San Jose, UCRL-JC-153846-ABS, UCRL-CONF-200706,





# İklim Değişimi Senaryoları ve Tür Dağılım Modeline Göre Kızılcık (*Cornus mas L.*) Türünün Odun Dışı Orman Ürünleri Kapsamında Değerlendirilmesi

Ayhan Akyol<sup>1\*</sup>, Ömer Kamil Örucü<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6442-0256)

<sup>2</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2162-7553)

(İlk Geliş Tarihi 3 Eylül 2019 ve Kabul Tarihi 27 Eylül 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.615019)

**ATIF/REFERENCE:** Akyol, A. & Örucü, Ö. K. (2019). İklim Değişimi Senaryoları ve Tür Dağılım Modeline Göre Kızılcık (*Cornus mas L.*) Türünün Odun Dışı Orman Ürünleri Kapsamında Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 224-233.

## Öz

İklim değişimi bugün dünya üzerindeki tüm canlıları etkilemekte ve doğanın dengesini değiştirmektedir. Doğanın dengesinin bozulması, içindeki tüm canlı unsurların değişim ve dönüşümünü ifade ederken insan refahı, ekosistem hizmetleri ve biyoçeşitlilik bağlamında da ciddi kayıplar anlamına gelmektedir. Bu bağlamda son yıllarda odun dışı orman ürünleri ile ilgili yapılan sosyo-ekonomik çalışmaların yanı sıra ekolojik çalışmalarında arttığı görülmektedir. Bu kapsamda kızılçık (*Cornus mas L.*) odun dışı orman ürünleri kapsamında katma değeri oldukça yüksek bir tür olarak öne çıkmaktadır. Ancak, *C. mas*'ın habitatını şekillendiren önemli çevresel faktörler hakkında az şey bilinmektedir. Bu nedenle çalışmada, yüksek çözünürlüklü çevresel veriler kullanılarak *C. mas*'ın Türkiye'deki mevcut yayılış alanları ve iklim değişimine bağlı olarak geliştirilen senaryolara göre gelecek projeksiyonu MaxEnt 3.4.1 programı kullanılarak modellenmiştir. Modellemede CCSM4 (The Community Climate System Model) 2050 ve 2070 yılı RCP (Representative Concentration Pathway) 4.5 ve RCP 8.5 iklim senaryosu kullanılarak oluşturulmuş 19 biyoklimatik değişken kullanılmıştır. Çalışma bulgularına göre, *C. mas*'ın günümüz tahmini potansiyel habitatı mevcut coğrafi dağılımı ile büyük ölçüde uyuşmaktadır. Jackknife testinin sonuçlarına göre *C. mas*'ın potansiyel dağılımında en yüksek kazancı olan çevresel değişken bio7 (yıllık sıcaklık oranı (Bio5-Bio6))'dir. İhmal edildiğinde kazancı en çok azaltan çevresel değişken ise bio15 (mevsimsel yağış miktarı (değişim katsayısı)) olmuştur. RCP 4.5 2050 ve 2070 projeksiyonları ile RCP8.5 2050 projeksiyonunda *C. mas*'ın yayılış alanının artmakta, RCP 8.5 2070 projeksiyonunda ise yayılış alanı azalmaktadır. *C. mas* gelecekte büyük bir habitat kaybına uğramamakta ancak coğrafi dağılımını Türkiye'nin kuzey ve kuzey batı bölgelerine doğru değiştirmekte ve buralardaki yayılışını genişletmektedir. Bu durum odun dışı orman ürünleri kapsamında değerlendirildiğinde ekonomik açıdan önem taşıyan, gıda güvenliğine katkı sağlayan ve kırsal kalkınma çalışmalarında kullanılan bir tür olarak *C. mas*'ın önemini daha da artırmaktadır. Bu nedenle iklim değişikliği ve türlerin etkileşimine yönelik daha kapsamlı çalışmalar yapılmalı ve bu etkileşimler ekonomik ve sosyal açılardan da değerlendirilmelidir.

**Anahtar Kelimeler:** İklim değişikliği, Tür dağılım modelleri, MaxEnt, Habitat uygunluğu, *Cornus mas L.*

## Investigation of Cornelian Cherry (*Cornus mas L.*) in the Scope of Non-Wood Forest Products According to Climate Change Scenarios and Species Distribution Model

### Abstract

Climate change is now affecting all living being on earth and changing the balance of nature. While disruption of the balance of nature means a change and transformation in all living elements in the environment, it also means severe losses in terms of human prosperity, ecosystem services and biodiversity. In this context, it is recently seen that, in addition to socio-economic studies on non-

\* Sorumlu Yazar: Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, ORCID: 0000-0001-6442-0256, [ayhanakyol@isparta.edu.tr](mailto:ayhanakyol@isparta.edu.tr)



wood forest products, ecological studies have also increased in numbers. Hence, the cornelian cherry (*Cornus mas* L.) is a prominent one with high added value especially as a non-wood forest product. However, little is known about the significant environmental factors that shape the habitat of *C. mas* L. Therefore, using high-resolution environmental data, the existing distribution areas of *C. mas* in Turkey and its future projections based on scenarios of climate change were modelled by using the MaxEnt 3.4.1 software. The modelling process utilized 19 bioclimatic variables that were formed by using the CCSM4 (The Community Climate System Model) 2050 and 2070 Representative Concentration Pathway (RCP4.5-8.5) climate scenarios. According to the findings of the study, the estimated potential habitat of *C. mas* for today is in a great agreement with its existing geographical distribution. According to the results of the Jackknife test, the environmental variable that provides the largest gain in the potential distribution of *C. mas* L. is bio7 (Temperature Annual Range (bio5-bio6)). The environmental variable that reduces the gain the most when it is neglected is bio15 (Precipitation Seasonality (Coefficient of Variation)). In the RCP4.5 2050 and 2070 projections and the RCP8.5 2050 projection, the distribution area of *C. mas* L. increases, while its distribution area decreases in the RCP8.5 2070 projection. *C. mas* L. does not experience a large habitat loss in the future, but it shifts its geographical distribution towards the northern and northwestern parts of Turkey. Considering this situation in terms of NWFPs, as a species with economic importance, contribution to food safety and usage in rural development practices, *C. mas* becomes even more significant. Therefore, more comprehensive studies should be carried out on climate change and interactions of species and these interactions should also be evaluated in the economic and social sense.

**Keywords:** Climate change, Species distribution models, MaxEnt, Habitat suitability, *Cornus mas* L.

## 1. Giriş

Türkiye bitki tür çeşitliliği açısından oldukça zengin bir ülke olup, doğal olarak yayılış gösteren, odun dışı orman ürünü (ODOÜ) niteliği taşıyan ve ticari öneme sahip olan birçok bitki türü bulunmaktadır. Özellikle kırsal alanlarda yaşayan ve bu bitkilerden direkt ve dolaylı olarak faydalanan insanların sayısı oldukça fazla olup bu türler kırsal kalkınma çalışmaları açısından da büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda Türkiye orman ekosistemlerinde doğal olarak yayılış gösteren kızılçık (*Cornus mas* L.) ekonomik açılarından önemli türlerden birisidir. *C. mas* Umbelliflorae takımının Cornaceae familyasından, kışın yapraklarını döken çalı veya 7-8 metreye kadar boyanabilen, gövde çapı 25-45 cm olan bir bitki türüdür (Baytop, 1984). Genelde bahçe ve tarla kenarlarında tek veya birkaç ağaç halinde ya da ormanlık alanlarda doğal olarak yetişmektedir (Güleryüz ve Pırlak, 1996). Yüksek besleyici değere sahip olması, farklı şekillerde kullanılabilmesi ve tıbbi özellikleri nedeniyle türe olan ilgi son yıllarda oldukça artmıştır. Türkiye, Dünyada önemli kızılçık üreticileri arasında bulunmakta olup, son verilere göre 1511 dekar alanda 11000 tona yakın kızılçık üretimi yapılmaktadır (TÜİK, 2014; Güneş vd., 2016). Türün doğal olarak yayılış gösterdiği ormanlık alanlarda ise aşırı yararlanma ve plansız müdahaleler nedeniyle meyve verimleri düşmüş ve alanlar bozulmuş durumdadır (Akyol ve Tanas, 2019). Türü tehdit eden diğer bir unsur ise, sera gazı emisyonlarının yol açtığı ve günümüzde küresel gündemin de başında yer alan küresel ısınma ve iklim değişikliği konularıdır.

Sera gazı emisyonlarının yol açtığı küresel ısınma ve iklim değişikliği Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'ne göre, küresel ortalama sıcaklık 1880-2012 yılları arasında 0.85 °C artmıştır (IPCC, 2014). *C. mas* katma değeri yüksek bir tür olmakla birlikte, türün gelecekte küresel ısınma ve iklim değişikliklerinden nasıl etkileneceği ve coğrafi dağılımının nasıl şekilleneceği konuları halen belirsizliğini korumaktadır. Bilindiği üzere iklim, türlerin dağılımında belirleyici bir rol oynamaktadır (Guisan ve Thuiller, 2005). Bu nedenle, türlerin ekolojik ihtiyaçlarını belirlemek ve potansiyel dağılım aralığını tahmin etmek için tür dağılım modelleri kullanılmaktadır (Franklin, 2013). Değişen çevresel süreçlere bağlı olarak, tür dağılımlarının anlaşılması türlerin koruma stratejilerinin tasarlanması ve gelecekte de sürdürülebilir bir şekilde kullanılmalarının sağlanması açısından önemlidir (Guisan ve Thuiller, 2005; Falcucci vd., 2007). En yaygın olarak kullanılan tür dağılım modellerinden birisi olan Maksimum Entropi Modeli, bir türün habitatının uygunluğunu farklı çevresel değişkenlerin nasıl etkilediğini açıklamaya çalışan bir modeldir.

Bu olgulardan hareketle çalışmanın amaçları, *C. mas*'ın potansiyel dağılımını etkileyen önemli çevresel faktörleri belirlemek, *C. mas*'ın farklı iklim senaryolarına bağlı olarak gelecekteki potansiyel dağılımını tahmin etmek ve bu tahminlere dayanarak *C. mas*'ın özellikle ODOÜ kapsamında kullanımı, korunması ve geliştirilmesi ile ilgili planlamacılara referans veriler sunmaktır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Çalışma materyali odun dışı orman ürünleri kapsamında orman köylerine ve köylülerine alternatif gelir kaynağı olan, gıda güvenliklerine katkı sağlayan, kırsal kalkınma amaçlı kullanılabilen, meyveleri tıbbi açıdan önem taşıyan ve ticari olarak oldukça önemli bir tür olan *Cornus mas* L.'dir.

### 2.2. Metot

*C. mas*'ın küresel iklim değişikliği karşısında gelecekteki yayılış alanlarının belirlenmesi amacıyla çalışmada yöntem olarak tür dağılım modeli kullanılmıştır. Bu kapsamda MaxEnt 3.4.1 versiyonu (Phillips vd., 2004; Elith vd., 2011) ile küresel iklim değişikliğine bağlı olarak *C. mas*'ın dağılım alanları için 2050 (2041-2060 ortalaması) ve 2070 (2061-2080 ortalaması) yılları periyodu maksimum entropi modelleri üretilmiştir.

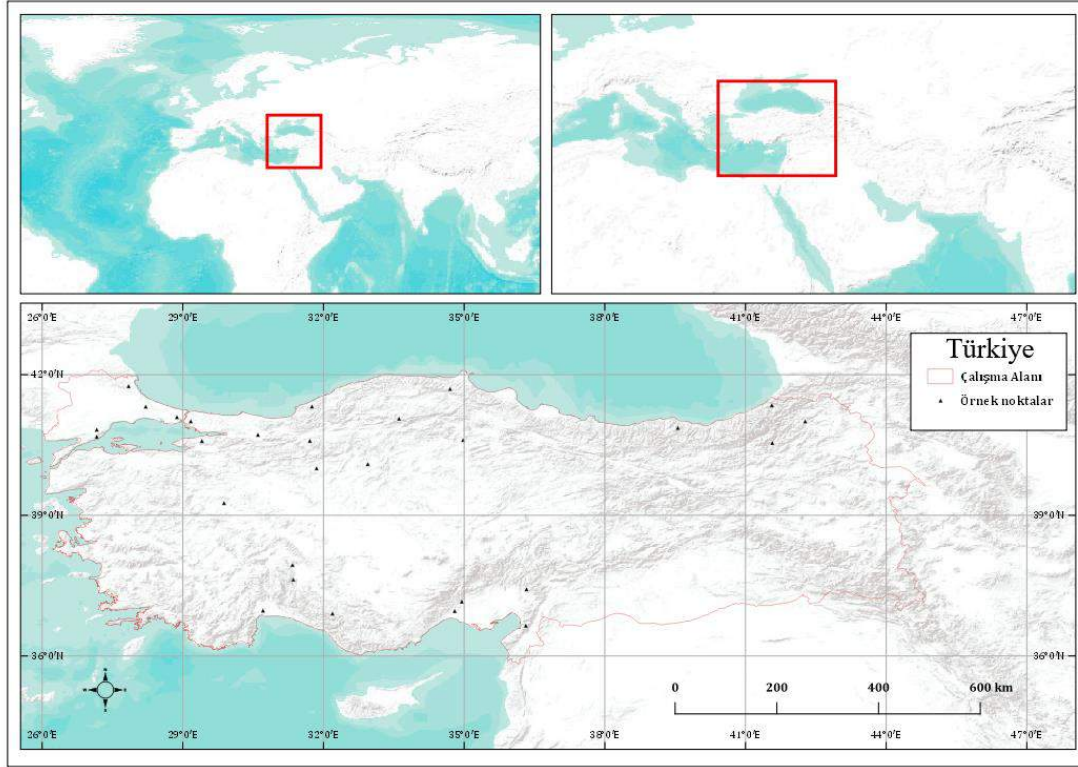
Çalışmada mevcut durum ve öngörülen gelecek için biyoklimatik değişkenler WorldClim veri tabanından elde edilmiştir (Hijmans vd., 2005; WorldClim, 2019). Tablo 1'de IPCC 2014 raporu temel alınarak hazırlanmış CCSM4 (The Community Climate System Model) 2050 ve 2070 yılı RCP (Representative Concentration Pathway) 4.5 ve RCP 8.5 iklim senaryosu kullanılarak

oluşturulmuş 19 biyoklimatik değişken görülmektedir. RCP'ler iklim modellerinde yakın gelecekteki sera gazı salınımı yoğunluklarına bağlı olarak mümkün olduğu düşünülen iklim senaryolarını tanımlamak için kullanılmaktadır (Moss vd., 2008). CCSM, dünyanın iklim sistemini simüle etmek için kullanılan bir iklim modelidir. Dünyanın atmosferini, okyanus, kara yüzeyini ve deniz buzullarını eş zamanlı olarak simüle eden dört ayrı modelden oluşan CCSM, araştırmacıların dünyanın geçmiş, şimdiki ve gelecekteki iklim durumları hakkında temel araştırmalar yapmalarına izin vermektedir (CESM, 2019).

**Tablo 1. Biyoklimatik Değişkenler**

Kodlar	Tanımlar
bio_01	Yıllık ortalama sıcaklık
bio_02	Sıcaklık değişim aralığı (aylık ortalama (max sıcaklık–min sıcaklık))
bio_03	İzotermalite (Bio2/Bio7) (*100)
bio_04	Mevsimsel sıcaklık (standard sapma *100)
bio_05	En sıcak ayın maksimum sıcaklığı
bio_06	En soğuk ayın minimum sıcaklığı
bio_07	Yıllık sıcaklık oranı (Bio5-Bio6)
bio_08	En nemli çeyreğin ortalama sıcaklığı
bio_09	En kurak çeyreğin ortalama sıcaklığı
bio_10	En sıcak çeyreğin ortalama sıcaklığı
bio_11	En soğuk çeyreğin ortalama sıcaklığı
bio_12	Yıllık yağış
bio_13	En nemli aydaki yağış miktarı
bio_14	En kurak aydaki yağış miktarı
bio_15	Mevsimsel yağış miktarı (Değişim katsayısı)
bio_16	En nemli çeyreğin yağış miktarı
bio_17	En kurak çeyreğin yağış miktarı
bio_18	En sıcak çeyreğin yağış miktarı
bio_19	En soğuk çeyreğin yağış miktarı

Çalışma için tür varlığı verisi olarak kullanılmak üzere, Türkiye'de *C. mas*'ın yayılış gösterdiği 28 noktadan 2019 yılında alınan kayıtlar kullanılmıştır (Tablo 2; Şekil 1) (Davis, 1982; Davis vd., 1988; GBIF, 2019). Çalışma kapsamında ayrıca MaxEnt modelleme programında çevresel değişkenlerin etkilerini ölçmeye sağlayan Jackknife seçeneği kullanılmıştır. Bu seçenek her bir bağımsız değişkenin modelin oluşturulmasındaki önem derecelerini belirlemeye olanak tanımaktadır. Potansiyel dağılım haritaları oluşturulurken 0 ve 1 değerleri kullanılmış olup, buna göre 1 türün bulunabileceği en uygun alanı gösterirken, 0 bulunma olasılığı olmadığı anlamına gelmektedir.



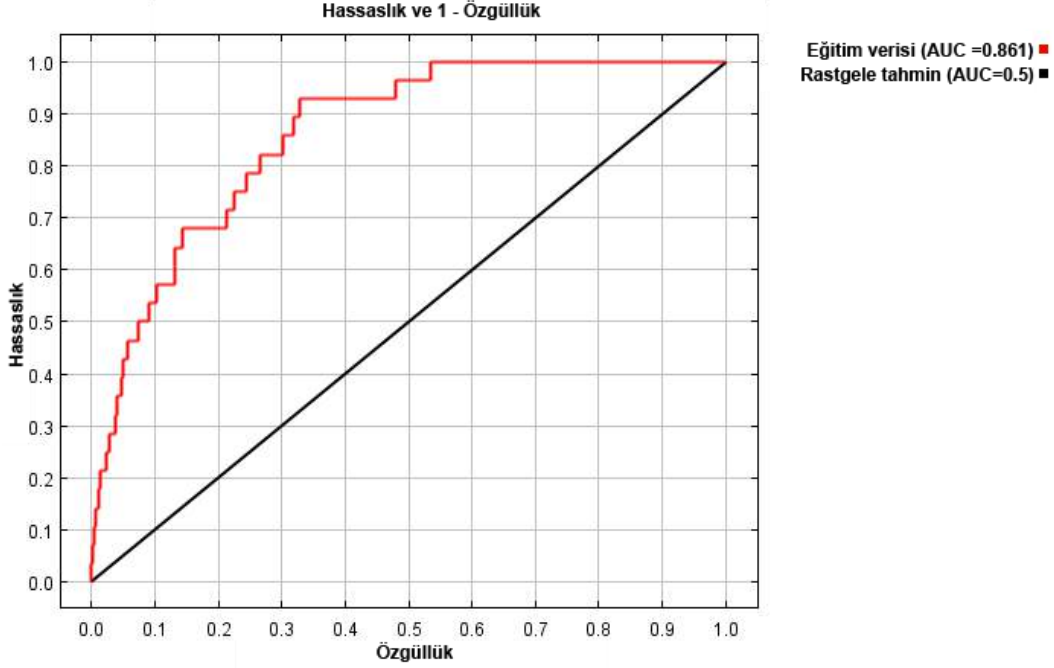
Şekil 1. Çalışma Alanı ve Örnek Noktalar

Tablo 2. Varlık Verilerinin Coğrafi Koordinatları ile Öznitelik Bilgileri

Örnek	İl/ilçe	X	Y	Sıcaklık (Ort) (°C)	Yıllık Yağış (mm)	Rüzgar (Ort) (m/sn)
1	Adana-Karaisalı	34.95059	37.16571	17.99	768	1.93
2	Ankara-Beypazarı	31.85237	40.00946	11.39	399	2.10
3	Ankara-Çubuk	32.94612	40.09875	11.09	423	2.08
4	Antalya-Merkez	30.70952	36.97375	18.30	726	2.22
5	Antalya-Gündoğmuş	32.19166	36.91125	5.47	696	2.68
6	Artvin-Borçka	41.56219	41.35321	8.53	1182	2.35
7	Artvin-Ardanuç	42.27202	41.00946	1.58	832	2.33
8	Bolu-Merkez	31.70952	40.59428	6.58	591	2.73
9	Çorum-Merkez	34.97737	40.61214	9.98	488	2.02
10	Erzurum-Uzundere	41.57112	40.54964	10.06	513	1.59
11	Hatay-Dörtyol	36.31666	36.65232	13.10	879	2.78
12	Isparta-Aksu	31.35684	37.63446	9.92	640	2.08
13	Isparta-Şarkikaraağaç	31.33898	37.94696	11.33	585	2.08
14	İstanbul-Çatalca	28.20952	41.32419	12.78	641	2.89
15	İstanbul-Sultangazi	28.87469	41.10098	13.86	726	2.83
16	İstanbul-Ümraniye	29.16934	41.01169	13.98	757	2.63
17	K. Maraş-Andırın	36.33005	37.4291	17.50	776	1.81
18	Kastamonu-Araç	33.6113	41.0675	6.44	576	2.38
19	Kırklareli-Demirköy	27.84344	41.76169	11.87	633	3.23
20	Kütahya-Aslanapa	29.87916	39.26839	10.13	597	2.28
21	Mersin-Tarsus	34.7988	36.96482	17.53	757	2.28
22	Sakarya-Akyazı	30.60237	40.72375	14.00	788	1.64
23	Sinop-Ayancık	34.70059	41.70143	6.98	672	2.96
24	Tekirdağ-Şarköy	27.16487	40.68134	12.92	705	3.44
25	Tekirdağ-Malkara	27.16487	40.83312	13.65	679	2.78
26	Trabzon-Akçaabat	39.55773	40.87107	8.84	726	2.29
27	Yalova-Altınova	29.40818	40.59205	12.86	668	2.52
28	Zonguldak-Merkez	31.75416	41.32643	11.53	827	2.58

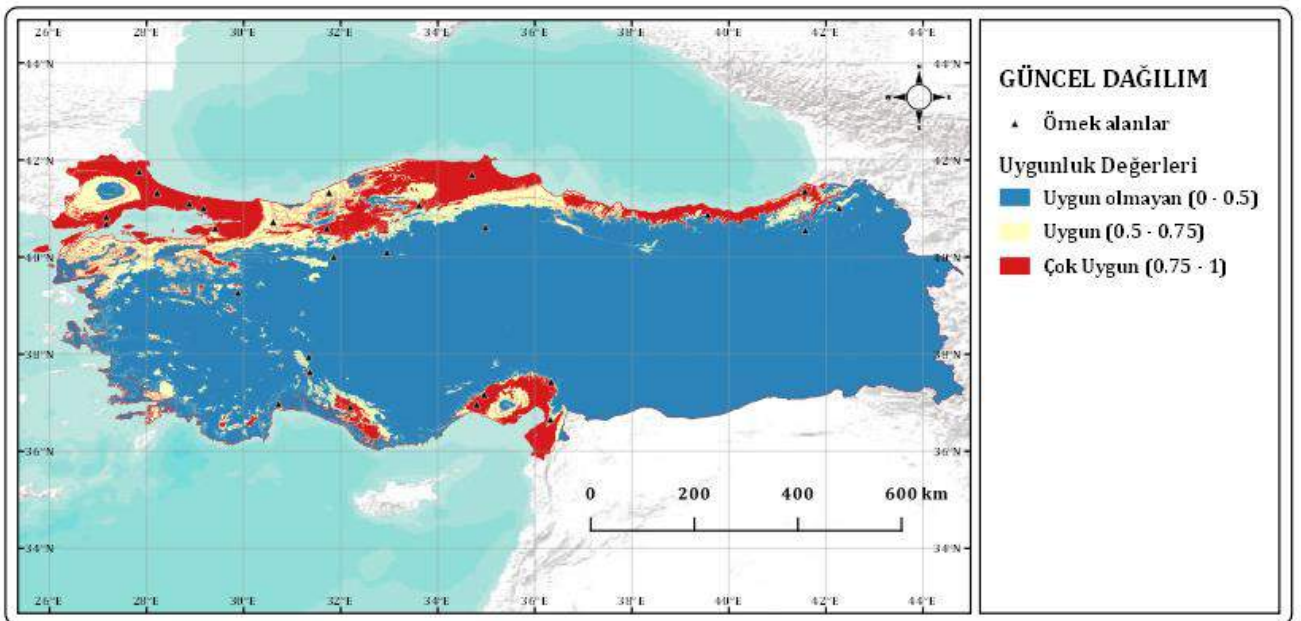
### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

*C. mas*'ın iklim değişimine bağlı olarak gelecekteki yayılış alanlarının belirlendiği bu çalışmada MaxEnt modellerinin performansı ROC (Receiver Operating Characteristic) analizleri ile test edilebilmektedir. Sonuçta elde edilen AUC (Area Under the ROC Curve) değeri doğru ayarlanmış bir modelde rastgele seçilen grid hücresinin varlığının tahmini olasılığı olarak yorumlanabilir. AUC tüm olası eşiklerle modelin başarısını tanımlamaktadır. Eğer bu değer  $AUC > 0.5$  ise modelin rastgele bir tahminden daha iyi performans gösterdiğini göstermektedir (Phillips, 2010). AUC değeri 1'e ne kadar yakınsa ayırım o kadar iyi, model hassas ve tanımlayıcıdır (Oliveira vd., 2010). Çalışma kapsamında elde edilen ROC eğrisindeki 0.861 AUC değeri modelin hassaslığını kanıtlamaktadır (Şekil 2). ( $AUC \geq 0.9$ =çok iyi,  $0.9 > AUC \geq 0.8$ =iyi ve  $AUC < 0.8$ =zayıf) (Gassó vd., 2012). Bu sonuçlar, model performansının iyi olduğunu yani modelin yüksek bir tahmin gücü olduğunu göstermektedir.



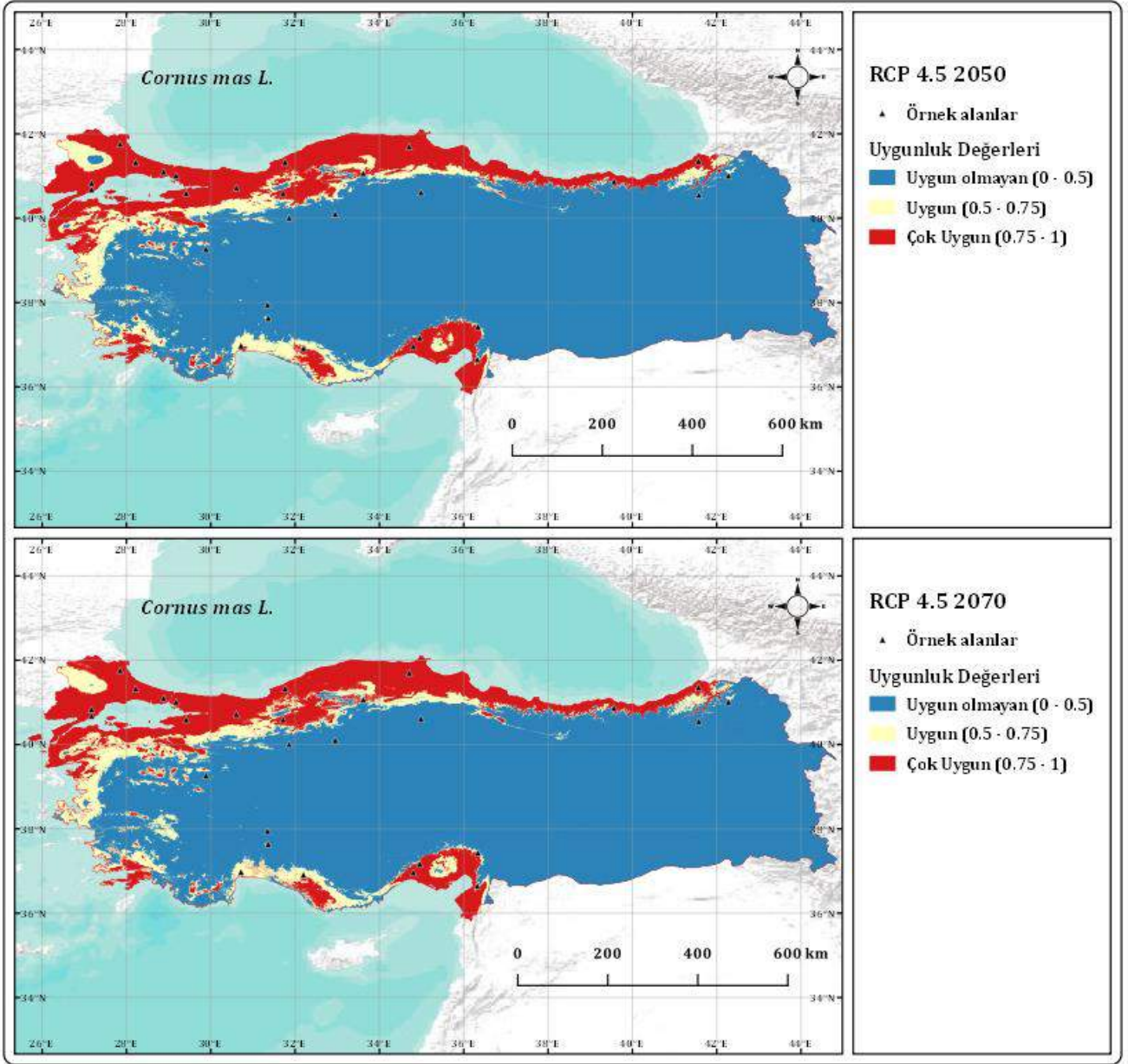
Şekil 2. Eğitim Verisi AUC Değeri

Buna göre, *C. mas*'ın mevcuttaki yayılış alanları Şekil 3'te, iklim değişikliğine bağlı olarak gelecekteki yayılış alanları 2050 ve 2070 yılları periyodunda RCP 4.5'e göre Şekil 4 ve RCP 8.5'e göre Şekil 5'de gösterilmektedir. Modellerde uygun olmayan alanlar mavi, uygun alanlar sarı çok uygun alanlar ise kırmızı renkle sembolize edilmiştir. Siyah üçgenler, modelin oluşturulması için kullanılan varlık verilerini göstermektedir.



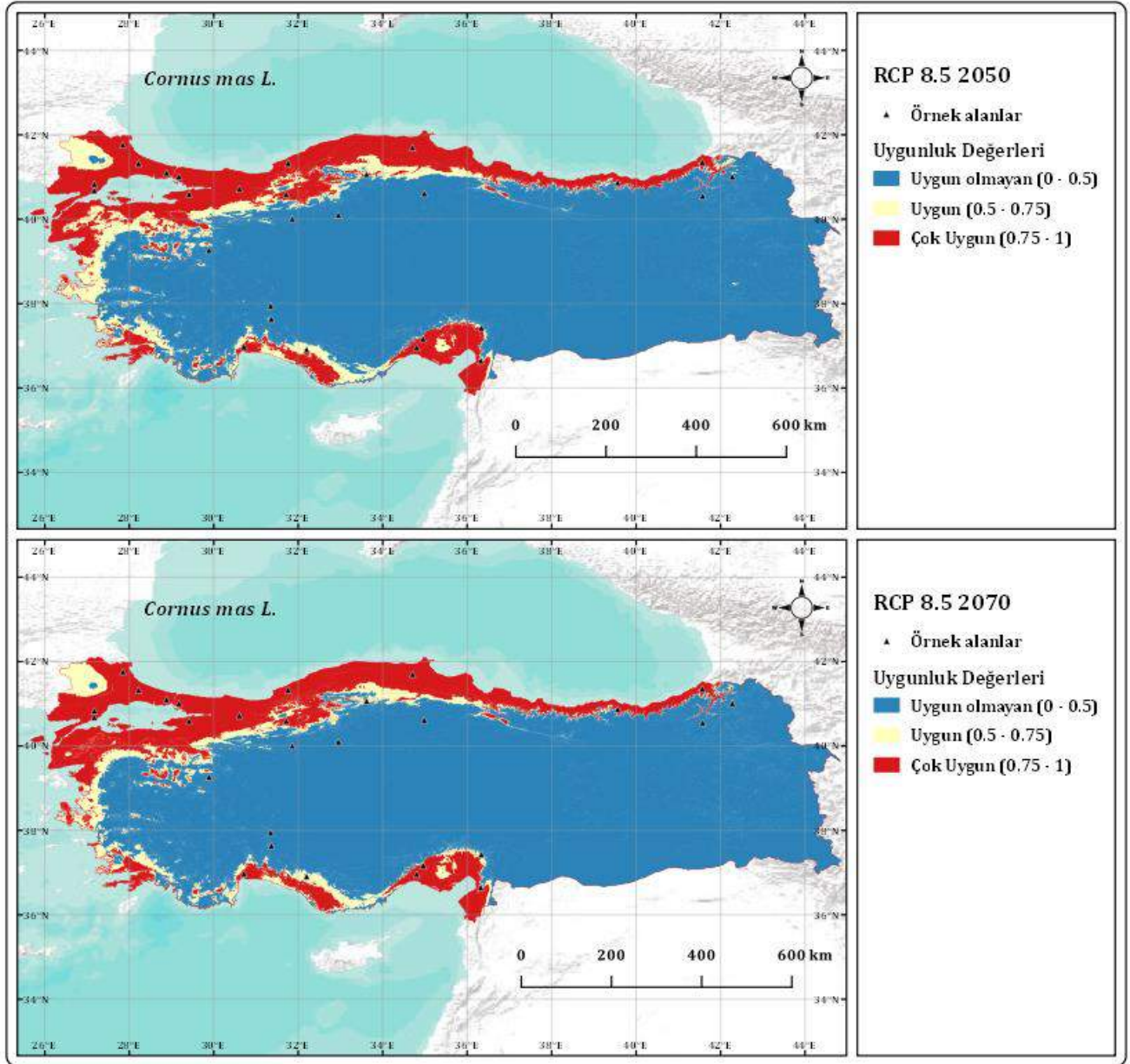
Şekil 3. *C. mas L.*'nin MaxEnt Tür Dağılım Modeline Göre Potansiyel Yayılış Alanı





Şekil 4. RCP 4.5'e Göre 2050-2070 Projeksiyonlarında Yayılış Alanları Modeli





Şekil 5. RCP 8.5'e Göre 2050-2070 Projeksiyonlarında Yayılış Alanları Modeli

MaxEnt modelinde bir türün alanda bulunma oranı 0-1 arasında bir değer ile belirlenmektedir. Değerler 1'e yaklaştıkça türün potansiyel olarak o alanda bulunma oranı artmaktadır. Bu nedenle çalışmada, *C. mas*'ın ticari değerinin yüksek olması ve kültüre alınarak üretime konu olmasından dolayı türe ait mevcut ve potansiyel dağılımın belirlenmesinde bulunma oranı 0.5'in üzerinde olan alanlar değerlendirmeye alınmıştır. Buna göre, *C. mas*'ın RCP 4.5 ve RCP 8.5'a göre 2050-2070 projeksiyonlarında türün yayılış alanları incelendiğinde (Tablo 3), yayılış alanı çok uygun habitat alanları (0.75-1) günümüz iklim koşullarında 96749 km<sup>2</sup> iken, RCP 4.5 2050 projeksiyonunda 139409 km<sup>2</sup>, RCP 4.5 2070 projeksiyonunda 136321 km<sup>2</sup>, RCP 8.5 2050 projeksiyonunda 141523 km<sup>2</sup> ve RCP 8.5 2070 projeksiyonunda 142404 km<sup>2</sup> olduğu görülmektedir. Yani *C. mas*'ın gelecekteki çok uygun (0.75-1) yayılış alanları artmaktadır.

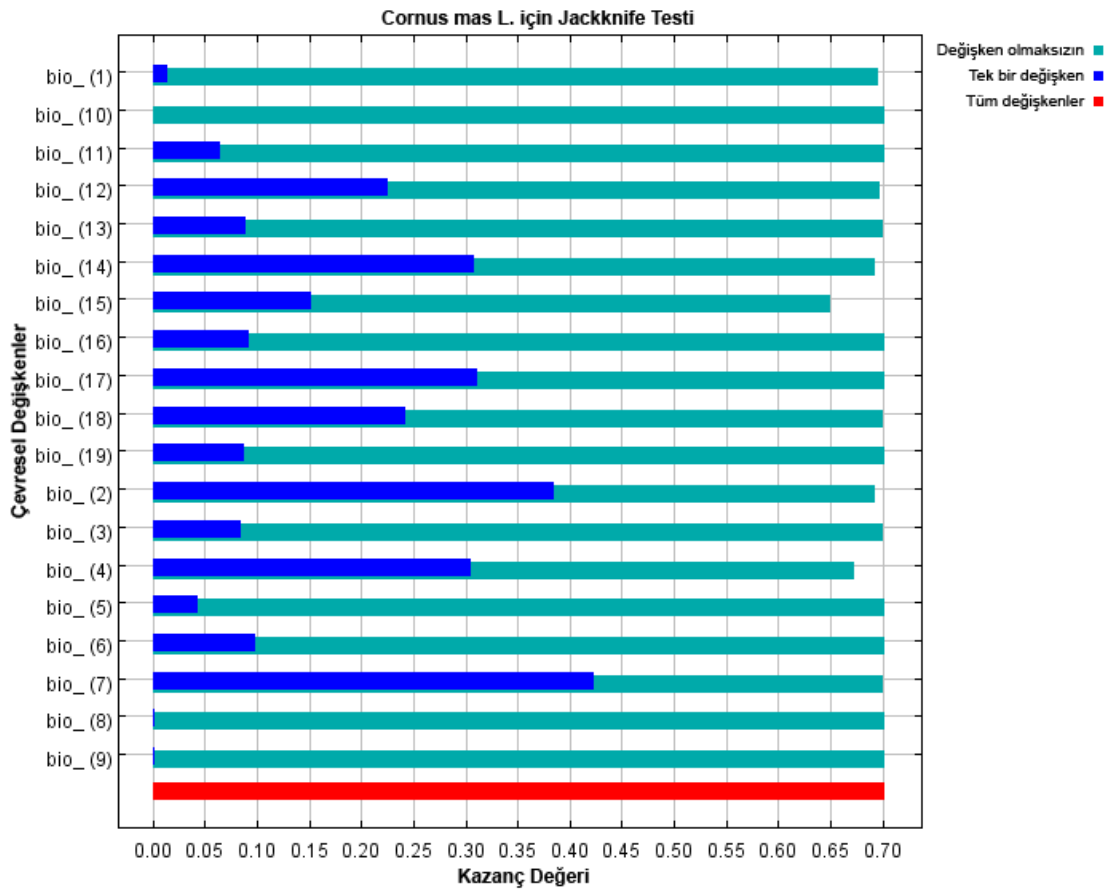
Tablo 3. *C.mas L.* 'nin Güncel ve Gelecek Projeksiyonlarına Göre Yayılış Alanları (km<sup>2</sup>)

Uygunluk Durumu	Güncel	RCP4.5 2050	Fark	RCP4.5 2070	Fark	RCP8.5 2050	Fark	RCP8.5 2070	Fark
Uygun Olmayan (0-0.5)	568138	555807	12331	552805	15334	558319	9820	569662	-1524
Uygun (0.5-0.75)	114633	84305	30329	90395	24239	79679	34954	67454	47179
Çok Uygun (0.75-1)	96749	139409	-42660	136321	-39572	141523	-44774	142404	-45655
Toplam	779521	779521		779521		779521		779521	

Ancak uygun (0.5-0.75) habitat alanları günümüz iklim koşullarında 114633 km<sup>2</sup> iken, RCP 4.5 2050 projeksiyonunda 84305 km<sup>2</sup>, RCP 4.5 2070 projeksiyonunda 90395 km<sup>2</sup>, RCP 8.5 2050 projeksiyonunda 79679 km<sup>2</sup> ve RCP 8.5 2070 projeksiyonunda 67454 km<sup>2</sup> olduğu görülmektedir. Yani *C. mas*'ın gelecekteki uygun potansiyel yayılış alanları azalmaktadır. Elde edilen bu bulgular türün gelecekteki potansiyel yayılış alanlarının niteliğinin değişeceğini göstermektedir. Özellikle habitatlar uygun (0.5-0.75) alanlardan çok uygun (0.75-1) alanlara doğru değişmektedir. Bu nedenle gelecekte özellikle ODOÜ üretimine ilişkin planlamalarda bu duruma dikkat edilmelidir. Yine elde edilen bu bulgular, önümüzdeki 50 yıl içerisinde özellikle kırsal kalkınma çalışmaları için alan seçiminde modelde belirlenen potansiyel dağılım alanlarının dikkate alınmasını gerekli kılmaktadır.

Şekil 3, 4 ve 5 yani güncel durum ve gelecek projeksiyonları bir bütün olarak incelendiğinde ise *C. mas*'ın habitat kayıp ve kazançları bağlamında büyük bir değişim yaşamayacağını göstermektedir. Ancak, modele göre Türkiye'nin güney bölgelerinde habitat kayıpları yaşanırken kuzey ve kuzey batı bölgelerinde habitat artışı yaşanacaktır. Bu bulgulara göre *C. mas* yayılışını daha kuzeye doğru değiştirmekte ve buradaki yayılışını genişletmektedir. İklim değişikliklerinin etkilerine yönelik yapılan diğer bazı çalışmalarda bazı bitki ve böcek türlerinin coğrafi yayılışlarının artacağı sonuçlarına ulaşılmıştır (West vd., 2015; Sarıkaya vd., 2018. Wei vd., 2018). Günümüzde istilacı olmayan bu türlerin oluşabilecek habitat kayıpları ve iklimsel değişikliklere bağlı olarak istilacı türler haline gelebilecekleri de öngörülmektedir. Ancak, özellikle yayılış alanı sınırlı türlerin iklim değişikliklerinden olumsuz etkilenecekleri bildirilmektedir (Moiseev ve Shiyatov, 2003; Mert vd., 2016; Dülgeroğlu ve Aksoy, 2018). Bu durumunun ise ekosistem hizmetleri kapsamında çeşitli hizmetlerde kayıplara ve insan refahında azalmalara yol açacağı çeşitli çalışmalarla ifade edilmektedir (Arslan, 2019). Bu nedenle gelecek yıllar için uygun önlemlerinin alınması ve kırsal kalkınma çalışmalarında bu durumun dikkate alınarak planlamaların yapılması türün yarattığı yüksek katma değer devamlılığı açısından önem taşımaktadır.

Jackknife MaxEnt modelleme programında çevresel değişkenlerin etkilerini ölçmeye sağlayan bir seçenektir. Bu seçenek her bir bağımsız değişkenin modelin oluşturulmasındaki önem derecelerini belirlemeye olanak tanımaktadır. Buna göre *C. mas* için modelde jackknife seçeneği işaretlenerek elde edilen kazanım tablosu Şekil 6'da verilmiştir. Jackknife testinin sonuçlarına göre izolasyonda kullanıldığında en yüksek kazancı olan çevresel değişken bio7 (yıllık sıcaklık oranı (Bio5-Bio6)'dır. Bu nedenle kendi başına en yararlı bilgiye sahip görünmektedir. Diğer bir değişken ise bio2 (sıcaklık değişim aralığı (aylık ortalama (max sıcaklık-min sıcaklık))'dir. İhmal edildiğinde kazancı en çok azaltan çevresel değişken ise bio15 (mevsimsel yağış miktarı (değişim katsayısı)) olup, bu nedenle diğer değişkenlerde bulunmayan en fazla bilgiye sahip görünmektedir. Bu bulgular türün dağılımını etkileyen en önemli çevresel değişkenlerin sıcaklık ile ilgili değişkenler olduğunu göstermektedir.



Şekil 6. Jackknife Çevresel Değişkenlerin Etki Dereceleri

## 4. Sonuç

*C. mas* L. ekonomik değeri yüksek bir tür olup, ODOÜ kapsamında ve kırsal kalkınma amaçlı çalışmalarda tercih edilmektedir. Türün gelecekte kendisinden beklenen ekolojik, ekonomik ve sosyal faydaları sürdürebilmesi için orman ekosistemi özelliklerine bağlı olarak coğrafi dağılımı üzere daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır. Elde edilen sonuçlar, gelecekte Türkiye’de *C. mas*’ın diğer pek çok türe kıyasla habitat kaybına uğramayacağını ancak coğrafi dağılımını Türkiye’nin kuzey bölgelerine doğru değiştireceğini ve kuzeydeki yayılışını genişleteceğini göstermektedir. Bu durum ODOÜ kapsamında değerlendirildiğinde ekonomik açıdan önem taşıyan, gıda güvenliğine katkı sağlayan ve kırsal kalkınma çalışmalarında kullanılan bir tür olarak *C. mas*’ın önemini daha da artırmaktadır. İklim projeksiyonları gelecekte özellikle sınırlı yayılışa sahip birçok türün habitat kaybına uğrayacağını ve hatta yok olacağını öngörmektedir. Bu durumda *C. mas* vb. gibi yüksek katma değerli türlerin ekonomik amaçlarla daha çok tercih edileceği ve doğal yayılış alanlarında daha çok kullanım baskısına maruz kalacakları düşünülmektedir.

*C. mas*’ın yayılışının gelecekte Türkiye’nin kuzey bölgelerinde genişletmesi o bölgelerde yaşayanların gelir ve besin elde etmeleri açısından olumlu bir durumdur. Ancak özellikle iklim değişiminden önemli derecede ve olumsuz etkileneceği düşünülen Akdeniz bölgesi ve bölgede yaşayanlar için ise olumsuz bir durumdur. Bu olumsuzlukların başında iklim değişimine adapte olamayan ve sınırlı yayılışa sahip olan bitki türlerinin neden olacağı biyolojik çeşitlilik kayıpları yer almaktadır (Khanum vd., 2013; IPCC, 2014). Diğer olumsuzluklar ise ODOÜ kapsamında sağlanan gelirlerin ve gıda güvenliğine katkısının azalması şeklindedir. Ancak, iklim değişikliklerinin sadece bu olumsuzluklarla sonuçlanmadığı, ekosistemin birçok değişkenini etkilediği, farklı türlerin biyolojileri ve ekolojilerini değiştirdiği çeşitli araştırmalarla ortaya konulmaktadır. Ancak bu değişime rağmen farklı toplumlarda halen iklim değişikliği konusunun yeterince önemsenmediği ve iklim değişikliği ile ilgili bilgi ve bilinç düzeyinin artırılması gerektiği yapılan çalışmalarla ortaya konulmaktadır (Arbuckle vd., 2013; Mase vd., 2017; Korkmaz, 2018). Bu durum ise, özellikle orman ekosistemleri, korunan alanlar vb. diğer biyolojik çeşitliliğin yüksek olduğu ekosistemlerdeki planlamalara iklim değişikliği konusunun bütünleştirilerek, iklim değişikliği ve türlerin etkileşimine yönelik daha kapsamlı çalışmaların yapılmasını gerekli kılmaktadır. Ayrıca, iklim değişikliği ile ilgili yapılacak çalışmaların sadece ekolojik çalışmalarla sınırlandırılmaması ve bu çalışmalara toplumun iklim değişikliğine uyumu ile ilgili çalışmaların eklenmesi de önemlidir. Böylece, başta biyolojik çeşitliliğin korunması olmak üzere, çeşitli türlerden sağlanan ekolojik, ekonomik ve sosyal faydaların korunması ve sürdürülmesine devam edilebilecektir.

## Kaynakça

- Akyol, A. & Tanas, E.K. (2019). Rehabilitasyon eylem planları çerçevesinde kızılçık (*Cornus mas* L.) rehabilitasyon çalışmalarının sosyo-ekonomik katkılarının irdelenmesi: Dursunbey Orman İşletme Müdürlüğü örneği. Turkish Journal of Forestry, 20(2): 101-109.
- Arbuckle, J.G., Morton, L.W. & Hobbs, J. (2013). Farmer beliefs and concerns about climate change and attitudes toward adaptation and mitigation: Evidence from Iowa. Climatic Change, 118(3-4): 551-563.
- Arslan, E.S. (2019). İklim değişimi senaryoları ve tür dağılım modeline göre kentsel yol ağaçlarının ekosistem hizmetleri bağlamında değerlendirilmesi: *Robinia pseudoacacia* L. örneği. Turkish Journal of Forestry, 20(2): 142-148.
- Baytop, T. (1984). Türkiye’de Bitkiler ile Tedavi. İstanbul Üniversitesi Basımevi, Yayın No: 3255, İstanbul.
- CEM, (2019). Community Earth System Model. <http://www.cesm.ucar.edu/models/ccsm4.0/>, Erişim Tarihi: 25.04.2019.
- Davis, P.H., (1982). Flora of Turkey and the Aegean Islands. Vol. :I-IX, Edinburgh University Press, London.
- Davis, P.H., Tan, K. & Mill, R. (1988). Flora of Turkey and the Aegean Islands. Vol. :X (supplement), Edinburgh University Press, London.
- Dülgeroğlu, C. & Aksoy, A. (2018). Predicting impacts of climate change on geographic distribution of *Origanum minutiflorum* Schwarz & P.H. Davis using maximum entropy algorithm. Erzincan University Journal of Science and Technology, 11(2):182-190.
- Elith, J., Phillips, S.J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y.E. & Yates, C.J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. Diversity and Distributions, 17 (1): 43-57.
- Falcucci, A., Maiorano, L. & Boitani, L. (2007). Changes in land-use/land-cover patterns in Italy and their implications for biodiversity conservation. Landscape ecology, 22(4): 617-631.
- Franklin, J. (2013). Species distribution models in conservation biogeography: developments and challenges. Diversity and Distributions, 19(10): 1217-1223.
- Gassó, N., Thuiller, W., Pino, J. & Vilà, M. (2012). Potential distribution range of invasive plant species in Spain. NeoBiota, 12: 25-40.
- GBIF, (2019). Global Biodiversity Information Facility. [www.gbif.org](http://www.gbif.org), Erişim tarihi: 14.02.2019.
- Guisan, A. & Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. Ecology letters, 8(9): 993-1009.
- Güleryüz, M. & Pırlak, L. (1996). Türkiye’de Kızılçık (*Cornus mas* L.) Yetiştiriciliği. Derim, 13(3): 129-136.
- Güneş, N.T., Özüpek, Ö. & Bakoğlu, N. (2016). Amasya’da doğal olarak yetişen kızılçık (*Cornus mas* L.) meyvelerinin raf ömrü sürecinde bazı fizikokimyasal özelliklerindeki değişimler. Bahçe, Yalova Atatürk Bahçe Kültürleri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 45(1): 680-684.
- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G. & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology, 25: 1965-1978.
- IPCC, (2014). Impacts, Adaptation and Vulnerability: Summary for Policymakers. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York.

- Korkmaz, M. (2018). Public awareness and perceptions of climate change: Differences in concern about climate change in the West Mediterranean Region of Turkey. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16(4):4039-4050.
- Mase, A.S., Gramig, B.M. & Prokopy, L.S. (2017). Climate change beliefs, risk perceptions, and adaptation behavior among Midwestern US crop farmers. *Climate Risk Management*, 15: 8-17.
- Mert, A., Özkan, K., Şentürk, Ö. & Negiz, M.G. (2016). Changing the potential distribution of Turkey Oak (*Quercus cerris* L.) under climate change in Turkey. *Polish Journal of Environmental Studies*, 25(4): 1633-1638.
- Moiseev, P.A. & Shiyatov, S.G. (2003). The use of old landscape photographs for studying vegetation dynamics at the tree line ecotone in the Ural Highlands, Russia. In: Nagy, L. (Ed.), *Alpine Biodiversity in Europe*. Springer-Verlag, Berlin.
- Moss, R.H., Babiker, M., Brinkman, S., Calvo, E., Carter, T., Edmonds, J.A. & Zurek, M. (2008). *Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies*. United States, IPCC Expert Meeting Report. Intergovernmental Panel on Climate Change, 34 pp. Geneva, Switzerland.
- Oliveira, M.D., Hamilton, S.K., Calheiros, D.F., Jacobi, C.M. & Latini, R.O. (2010). Modeling the potential distribution of the invasive golden mussel *Limnoperna fortunei* in the Upper Paraguay River system using limnological variables. *Brazilian Journal of Biology*, 70(3):831-840.
- Phillips, S.J. (2010). A brief tutorial on Maxent. *Lessons in Conservation*, 3: 107-135.
- Phillips, S.J., Dudík, M. & Schapire, R.E. (2004). A maximum entropy approach to species distribution modeling. In *Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning*, 655-662. ACM Press, Newyork.
- Sarıkaya, O., Karaceylan, I.B. & Şen, İ. (2018). Maximum Entropy Modeling (MaxEnt) of current and future distributions of *Ips mannsfeldi* (Wachtl, 1879) (Curculionidae: Scolytinae) in Turkey. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16(3):2527-2535.
- TÜİK, (2014). Türkiye İstatistik Kurumu, Bitkisel Üretim İstatistikleri.
- Wei, B., Wang, R., Hou, K., Wang, X. & Wu, W. (2018). Predicting the current and future cultivation regions of *Carthamus tinctorius* L. using MaxEnt model under climate change in China. *Global Ecology and Conservation*, 16 (2018) e00477.
- West, A.M., Kumar, S., Wakie, T., Brown, C.S., Stohlgren, T.J., Laituri, M., Bromberg, J. (2015). Using high-resolution future climate scenarios to forecast *Bromus tectorum* invasion in Rocky Mountain National Park. *PLoS ONE* 10(2): e0117893.doi:10.1371/journal.pone.0117893.
- WorldClim, (2019). WorldClim - Global Climate Data. www.worldclim.org, Erişim tarihi: 14.05.2019.





# Balıkesir İli İçin Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi

Süreyya Kocabay<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Hamidiye Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2300-0789)

(İlk Geliş Tarihi 12 Eylül 2019 ve Kabul Tarihi 14 Ekim 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.619058)

**ATIF/REFERENCE:** Kocabay, S. (2019). Balıkesir İli İçin Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 234-243.

## Öz

Günümüzde dünya genelinde enerjiye duyulan ihtiyacın sürekli artması ülkeleri yeni enerji kaynakları arayışına itmiştir. Ülkelerin bu yeni enerji kaynağı arayışları esnasında; fosil enerji kaynaklarının sınırlı rezerve sahip olması ve olumsuz çevresel etkileri, enerji arz güvenliğinin stratejik öneme sahip olması ve ülkelerin enerjide dışa bağımlılıktan kurtulmak istemesi gibi sebepler yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi arttırmıştır. Ülkemiz fosil enerji kaynak rezervlerine yakın olmasına rağmen enerji ihtiyacımızın %75'i ithal yollarla temin edilmektedir. Coğrafi bölgemiz ekseninde ortaya çıkan siyasal krizler ve savaşlar enerji arz güvenliğimizi tehdit eder hale gelmiştir. Bu kapsamda dışa bağımlılıktan kurtulmak ve elektrik üretim kaynaklarımızın çeşitlendirilmesi amacıyla yerli enerji kaynaklarımızın potansiyellerinin araştırılması gerekmektedir. Bu çalışmada, Balıkesir il sınırları içerisindeki büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanlarından kaynaklanan hayvansal atıklardan elde edilebilecek biyogaz potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Hayvan sayılarının belirlenmesinde 2018 yılı Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerinden faydalanılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda Balıkesir ilinde yıllık 390.114.719 m<sup>3</sup> biyogaz potansiyeli olduğu belirlenmiştir. Bu biyogaz potansiyelinin %51'i büyükbaş hayvanlardan, %6'sı küçükbaş hayvanlardan ve %43'ü kümes hayvanlarından elde edilebilir. Halihazırda hayvansal atık kullanarak elektrik üreten biyogaz elektrik santralleri (BES) Gönen, Bandırma gibi kuzeydeki ilçelerin sınırlarında bulunmaktadır. Kurulu ve inşa halindeki santraller ile birlikte Balıkesir ilindeki hayvansal atık kaynaklı BES'lerin toplam gücü 10,30 MW'a ulaşacaktır. Yıllık 390.114.719 m<sup>3</sup> biyogazın eşdeğer elektrik enerjisi potansiyeli 893.363 MWh'dir. Bu toplamda 112 MW kurulu güce sahip BES kurulabileceği anlamına gelir. Mevcut santraller ile biyogaz potansiyelinin ancak %10'u kullanılabilir durumdadır. Dolayısıyla Balıkesir ilinde yaklaşık 102 MW daha BES kurulabilme potansiyeli vardır. Hayvansal atıkların aynı zamanda bir çevresel sorun olduğu düşünüldüğünde hayvan yoğunluğunun yüksek olduğu ve büyük ölçekli hayvan çiftliklerinin bulunduğu ilçelerde BES kurulması yönünde teşviklerin yapılması gereklidir.

**Anahtar Kelimeler:** Balıkesir, Biyogaz, Yenilenebilir enerji, Hayvansal atıklar, Atık bertaraf.

## Determination of Biogas Potential from Animal Waste for Balıkesir Province

### Abstract

Today, the continuous increase in the need for energy around the worldwide has led countries to seek new energy sources. During the countries' search for this new energy sources; limited reserves and negative environmental impacts of fossil energy sources, the strategic importance of energy supply security and the desire of countries to get rid of dependence on foreign energy, increased the

\* Sorumlu Yazar: Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Hamidiye Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0002-2300-0789, [sureyya.kocabay@sbu.edu.tr](mailto:sureyya.kocabay@sbu.edu.tr)



interest in renewable energy sources. Although our country is located close to fossil energy reserves, 75% of our energy needs are supplied by imported means. In recent years, political crises and wars in our region have become a threat to our energy supply security. In this context, in order to get rid of external dependence and to diversify our electricity generation resources, the potentials of our domestic energy resources should be investigated. In this study, it is aimed to determine the biogas potential that can be obtained from animal wastes from cattle, small ruminants and poultry in the Balıkesir province. In determining the number of animals, it has been benefited from the Turkey Statistical Institute (TSI) 2018 data. As a result of the calculations, it has been determined that there is an annual biogas potential of 390.114.719 m<sup>3</sup> in Balıkesir province. The available biogas potential can be obtained from 51% cattle, 6% from small ruminants and 43% from poultry. Currently, Biogas Power Plants (BPP) that generate electricity using animal wastes in Balıkesir province are located in the northern districts such as Gönen and Bandırma. The total power of the BPPs utilizing animal waste resources in Balıkesir province will be 10,30 MW with the installed and under construction power plants. The equivalent electrical energy potential of 390.114.719 m<sup>3</sup> biogas per year is 893,363 MWh. This means that BPP with totally 112 MW installed power can be installed. Only 10% of the Balıkesir's total biogas potential is available with the existing power plants. Therefore, in Balıkesir province, there is a potential to be established for about 102 MW of BPP. Considering that animal wastes are also an environmental problem, incentives by the state should be made for the establishment of BPP in districts with high animal density and large-scale animal farms.

**Keywords:** Balıkesir, Biogas, Renewable energy, Animal wastes, Waste disposal.

## 1. Giriş

Enerji günümüzde dünya kamuoyunu en çok meşgul eden gündem maddelerinden biridir. Bunun en başta gelen nedeni globalleşme, nüfus artışı ve artan endüstriyel üretim ile birlikte ülkelerin büyüyen enerji ihtiyacıdır. Uluslararası Enerji Ajansı'na (UEA) göre, 2035'e kadar global enerji talebinin bugüne göre %47 artması beklenmektedir (Suganthi ve Samuel, 2012; Magistretti ve ark., 1999; WEC, 2013). Dünya genelinde artan bu enerji talebine cevap vermek ve enerjide dışa bağımlılığı azaltmak için yeni enerji kaynak arayışları hız kazanmıştır. Bu kapsamda, fosil yakıtların tükenmekte olması ve çevreye olan olumsuz etkileri yenilenebilir enerji kaynaklarına ülkelerin enerji politikalarında öncelik verilmesine yol açmıştır.

Gelişmiş ülkelerin uyguladıkları sanayi politikalarına bakıldığında, büyüme ve sanayileşmenin ucuz, kesintisiz ve dışa bağımlı olmayan enerjiden geçtiği görülmektedir. 2011 yılında Türkiye Sanayici ve İş Adamları derneği (TÜSİAD) tarafından yayınlanan Vizyon 2050 Türkiye raporunda, Türkiye'nin ekonomik ve sosyal refahını sürdürülebilir kılmak için düzenli olarak yıllık %5-6 büyümesi gerektiği söylenmektedir. Halihazırda ülkemizdeki mevcut enerji tüketiminin yaklaşık %75'inin ithalat yolu ile karşılandığı gözönüne alındığında yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi daha kolay anlaşılacaktır (TÜSİAD, 2011). Ayrıca son yıllarda dünya siyasetinde yaşanan olaylar ülkemiz açısından enerji arz güvenliğinin ne kadar önemli olduğunu bir kez daha ortaya koymuştur. Bu doğrultuda enerji kaynaklarımızın çeşitlendirilmesi, yerli enerji kaynaklarımızın kullanıma sunulması ve enerji alanında teknolojilerin geliştirilmesi ülkemizin geleceği için büyük önem arz etmektedir.

Ülkemizde yerli enerji kaynaklarımız olarak rüzgar, güneş, linyit, hidroelektrik ve biyokütle enerjilerini sayabiliriz. Biyokütle enerjisi, hayvansal atıklar ve ormansal ve tarımsal kalıntılardan oluşan bir yenilenebilir enerji kaynağıdır (McKendry, 2002). Biyokimyasal dönüşüm süreci, ABD enerji bakanlığı tarafından organik malzemelerin yakıt dönüşmesi için canlı organizmalar veya onların ürünlerinin kullanımı şeklinde tanımlanmıştır (Cantrell ve ark., 2012). Dolayısıyla, biyokütleden enerji üretimi biyogaz üretim teknolojisine bağlı olarak çevre dostu bir yöntemdir denilebilir. Biyogaz yüksek ısı verimliliğe sahip, temiz ve yerel bir enerji kaynağıdır. Bugüne kadar dünya genelinde biyogaz neredeyse tamamıyla elektrik ve ısı üretiminde kullanılmaktadır (Solomie ve ark., 2010).

Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) tarafından 2018 yılı Mayıs ayında yayınlanan "Türkiye Elektrik Enerjisi 5 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu" raporunda Türkiye'deki biyokütle santralleri kurulu güç kapasitesi (atık ısı ve çöp dahil) 2017 sonu itibarıyla 634 MW, 2018 sonu itibarıyla 675 MW, 2019 sonunda 715 MW, 2022 sonuna kadar toplamda 775 MW kapasiteye ulaşması öngörülmüştür. Ancak halihazırda 2019 başı itibarıyla 738,8MW kapasiteye ulaşılarak bu öngörülerin üzerine çıkmıştır (TEİAŞ, 2018). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan Türkiye Biyokütle Enerjisi Potansiyel Atlasına göre Balıkesir ilinde biyokütle kaynaklı lisanslı 3 adet toplamda 35,75 MW biyokütle elektrik santrali bulunmaktadır. Bu 3 santralden sadece 2 tanesi hayvansal atık kullanılmaktadır ve toplamda 5,75 MW kurulu güce sahiptir (ETKB, 2019). Güney Marmara Kalkınma ajansı tarafından yayınlanan 2017 yılı eylem raporunda ise Balıkesir genelinde biyogaz ve biyokütle tesisi sayısının 2023'te 10 adete ulaştırılması hedeflenmektedir (GMKA, 2017).

Balıkesir bütün hayvan türleri sayısında ve hayvansal ürünlerin üretiminde Türkiye'de ilk 5 il arasında yer almaktadır. Bu kadar büyük hayvan yoğunluğuna sahip olması, hayvansal kaynaklı atıkları il genelinde bir çevre sorunu olarak karşımıza çıkarmaktadır. Halihazırda hayvansal atıklar tarlalara doğal gübre olarak atılarak bertaraf edilmektedir. Bu şekilde atılan atıklardan kontrolsüz bir şekilde atmosfere karışan metan gazı küresel ısınma noktasında karbondioksit göre 30 kat daha fazla zararlı etkiye sahiptir (Sözer ve Yıldız, 2011). Biyogaz yakıldığında, metan gazının atmosfere salınımına engel olarak sera etkisinin azaltılmasına katkıda bulunur (Gülen ve Arslan, 2005; Wuebbles, 2002; Montzka ve ark., 2011). Bu sebeple, biyogaz elektrik santralleri (BES) büyük ölçekli hayvan çiftliklerinin atıklarının bertaraf edilmesine de yardımcı olurlar.

Yapılan bu çalışma kapsamında, hayvancılıkta alanında ülkemizin önde gelen illerinden olan Balıkesir'in hayvansal kaynaklı biyogaz enerji potansiyeli araştırılmıştır. Elde olunan sonuçlar ışığında atıkların bertarafı konuları dikkate alınarak BES kurulabilecek bölgeler tespit edilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada 2018 yılına ait Balıkesir ilindeki hayvan varlığına dair bilgiler TÜİK ve İl Tarım ve Hayvancılık müdürlüğü verilerinden alınmıştır. Daha sonra Balıkesir ilinin ilçelere göre hayvan dağılımı analiz edilmiştir. Biyogaz potansiyelini, toplanabilecek toplam yaş atık miktarı ve bunların biyogaz üretebilme kapasiteleri belirlemektedir. Bu kapsamda yapılan literatür araştırmaları ve biyogaz üretim sürecinde yapılacak hesaplamalara ilişkin detaylar aşağıda verilmiştir.

### 2.1. Biyogaz Özellikleri

Biyogaz bitkisel, hayvansal, şehir ve endüstriyel atıkların anaerobik fermantasyonu sonucu ortaya çıkan bir gaz türüdür. Bileşiminde organik maddelerin bileşimine bağlı olarak yaklaşık; %50-70 metan, %30-60 karbondioksit, %0-3 hidrojen sülfür ile çok az miktarda azot ve hidrojen bulundurulur. İçeriğindeki metan gazından dolayı yanabilme özelliğine sahiptir. Biyogazın ısı eşdeğeri metan oranına bağlı olarak 20-25 MJ/m<sup>3</sup> tür (Bond ve Templeton, 2011; Çağlayan ve Koçer, 2014).

Anaerobik fermantasyon sürecinde metan oluşumunu sağlayan metan bakterileri, fermantasyon ortamının sıcaklığına göre üç gruba ayrılırlar. Bunlar sakrofilik, mezofilik, termofilik fermantasyondur. Metan bakterilerinin büyümesi için optimum sıcaklık aralıkları sırasıyla 5-25 °C, 30-40 °C ve 50-62 °C dir (Ogejo ve ark., 2009). Ortam sıcaklığı, metan gazı üretiminde en önemli etmendir. Metan bakterileri ani sıcaklık değişimlerinden, gece-gündüz sıcaklık farkından kolaylıkla etkilenirler. Bu sebeple üreteç iç sıcaklığının sabit tutulması amacıyla biyogaz yakma motorunun soğutma suyundan faydalanılır. Üreteç içindeki bakteriler 4,5-75 °C sıcaklık aralıklarında metan gazı üretebilirler (Yaldız ve ark., 1998). Bu nedenle sıcak bölgelerde biyogaz üretim tesislerinin başarısı oldukça yüksektir. Büyükbaş hayvan atıklarında katı madde oranı %13-20 civarındadır. Ancak optimum biyogaz oluşumu için üreteç içindeki atık-su karışımının katı madde oranının %7-9 olması gerekmektedir. Bu amaçla biyogaz üretim sürecinde üreteç içine konulan hayvansal atıklar seyreltilir (Abade ve ark., 2015).

Biyogaz üretim sürecinde antibiyotik almış hayvanların atıklarının üretim tankına alınmaması biyogaz üretim başarısı için birincil önceliktir. Çünkü Büyükbaş hayvancılık sektöründe kullanılan antibiyotiklerin %17 -%90 arası hayvan dışkıları ile dışarı atılır. Bunun anlamı eğer hayvanlarda antibiyotik kullanılırsa bu ilaçlar hayvan atıklarında hala varlıklarını devam ettirirler (Massé ve ark., 2014). Antibiyotikler, biyogaz verimini düşürdüğü gibi, biyogazın metan içeriğinde de azalmaya yol açmaktadır. Azalma seviyesi antibiyotik cinsine, gübrenin konsantrasyonuna ve tank içindeki üretim süresine göre değişmektedir. Sonuç olarak, bir önceki duruma göre antibiyotik karıştırıldığında elde edilen metan miktarlarında %10 ile %33 arasında değişen oranlarda azalma meydana gelmektedir (El-Din, 1986). Dolayısıyla üreticilerin bilinçlendirilerek antibiyotik kullanan hayvanları diğer hayvanlardan ayrı depolaması ve ahırlarda temizlik vb işlerde kimyasallar kullanılmamasına özen göstermesi sağlanmalıdır.

Anaerobik fermantasyon sürecinde biyogaz üretiminin başarısı için aşağıdaki hususlara dikkat edilmesi gerekir (Çağlayan ve Koçer, 2014 ; Yaldız ve ark., 1998; Yılmaz, 2019).

- Fermantör-Üreteç içinde kesinlikle oksijen bulunmamalı,
- Üreteçe ışık girmemeli ve ortam karanlık olmalı,
- Antibiyotik almış hayvanlara ait atıklar üretim tankına alınmamalı,
- Deterjanlı organik atıklar üretim tankına alınmamalı,
- Üretim yöntemine göre üreteç iç sıcaklığı 35 veya 56 °C de sabit tutulmalı,
- Uygun karbon azot oranı sağlanmalı (C/N),
- Ortam asitliği (pH) 6.8-7.8 arasında olmalı,
- Üreteçteki hammadde seyreltilmeli,
- İdeal fermentasyon süresi sağlanmalıdır.

### 2.2. Çalışma Alanı

Balıkesir yüzölçümü 14.299 km<sup>2</sup> (göller dahil hariç) olup coğrafi olarak Türkiye'nin batısında 39,20°- 40,30° enlemleri ve 26,30°- 28,30° boylamları arasında yer alır. Doğuda Bursa ve Kütahya illeri, güneyde Manisa ve İzmir illeri ve batıda Çanakkale ili ile komşudur. İlin kuzey yönündeki en uç noktası güneydekine 175 km, doğu yönündeki en uç noktası batısındakine 210 km uzaklıktadır. Şekil 1'de görüldüğü üzere Balıkesir siyasi olarak büyükşehir belediyesi olup merkez ilçeleri ile birlikte toplam 20 ilçeye sahiptir. İlin topraklarının büyük bir kısmı Marmara Bölgesi'nde, geri kalan kısmı da Ege Bölgesi'ndedir. Hem Marmara hem de Ege Denizi'ne kıyısı bulunmaktadır (BBB, 2019).

İlin düzlük yerleri olduğu kadar dağlık kısımları da vardır. İlin en yüksek noktası 2.089 metre ile Dursunbey ilçesinde bulunan Akdağ tepesidir. İlin topraklarının %27,21'i tarım alanı, %5,66'sı çayır-mera alanı, %22,28'i tarım dışı alan ve % 44,85'ini ormanlar kaplamaktadır (BBB, 2019). Balıkesir, coğrafi yapısı ve iklim koşulları ile bir tarım kentidir. Verimli tarım arazilerinin yaygın olarak bulunduğu Balıkesir, sahip olduğu stratejik konum ile tarımsal ürünlerini kolayca pazarlama olanağına sahiptir. Yatırımların dağılımına bakıldığında ekonomik büyüklük bakımından baskın sektörün %64 oranla tarım ve hayvancılık olduğu görülmektedir (GMKA, 2019).

Sanayileşmenin çok yoğun olduğu Marmara Bölgesi'nde yer alan Balıkesir, entansif (endüstriyel) süt ve besi işletmelerinin önemli bir kısmını barındırmaktadır. Balıkesir genelindeki sığırların %7'si yerli, %71'i kültür %22'si melez sığırdır (TÜİK, 2019). Dolayısıyla büyükbaş hayvan varlığı et, süt ve atık verimi çok yüksek hayvanlardan oluşmaktadır. İl genelindeki sığırların yaklaşık %44'ü 20 baş altında sığıra sahip aile işletmelerinde bulunmaktadır. Balıkesir'in hemen her ilçesinde 20 baş ve üzeri hayvan varlığına

sahip ölçekte işletmeler bulunmaktadır. Bu ölçekte işletmelerde günlük yaklaşık 1 ton yaş gübre üretilmektedir. Küçükbaş hayvanların %49'u 100 baş ve üzeri hayvana sahip işletmelerde bulunmaktadır. Balıkesir genelinde ilçelerin çoğunluğunda 100 baş ve üzeri hayvan sayısı yoğunluğu %40'ın üzerindedir. Hemen her ilçede küçükbaş atık potansiyeli mevcuttur. 2018 yılı itibariyle il genelinde toplam 726 adet entegre broiler, 77 adet yumurta tavukçuluk işletmesi bulunmaktadır (TÜİK, 2019; GMKA, 2012).



Şekil 1. Balıkesir İli ve İlçeleri Mücavir Sınırları

### 2.3. Hayvan Sayıları

Büyükbaş hayvan olarak manda dışındaki sığırlar, küçükbaş hayvan olarak koyun ve keçi, kümes hayvanı olarak da broiler tavuğu, yumurta tavuğu, hindi ve ördek sayıları referans alınmıştır. 2018 yılı TÜİK verilerine göre Balıkesir genelindeki hayvan sayısı Tablo 1'de verilmiştir (TÜİK, 2019).

Tablo 1. 2018 Yılı İtibariyle Balıkesir İl Genelindeki Hayvan Sayıları

İlçe Adı	Kümes hayvanları					Büyükbaş (Manda hariç)	Küçükbaş (Koyun / Keçi)
	Tavuk (Broiler tek dönem)	Tavuk (Yumurta)	Hindi	Ördek	Toplam		
Altıeylül	2.959.975	716.429	3.264	890	3.680.558	74.375	133.600
Ayvalık	0	15.500	60	65	15.625	6.800	27.911
Balya	25.200	127.280	200	30	152.710	25.320	58.900
Bandırma	4.766.140	3.371.654	250	307	8.138.351	16.291	32.740
Bigadiç	2.375.527	75.500	0	0	2.451.027	79.650	57.930
Burhaniye	457.000	285.000	470	190	742.660	12.618	37.500
Dursunbey	730.355	9.680	800	230	741.065	25.878	79.308
Edremit	70.000	2.795	137	95	73.027	7.535	13.082
Erdek	1.782.632	14.500	90	80	1.797.302	4.313	9.357
Gömeç	0	1.300	10	30	1.340	1.434	13.689
Gönen	1.395.000	393.000	409	2.638	1.791.047	41.141	95.096
Havran	0	5.160	59	265	5.484	15.449	23.534
Karesi	3.791.788	13.400	2.400	107.508	3.915.096	43.548	132.309
Kepsut	121.000	14.151	255	40	135.446	29.012	49.890
Manyas	729.220	1.402.496	296	2.694	2.134.706	24.560	64.762
Marmara	0	550	30	50	630	1.001	11.947
Savaştepe	2.068.759	282.000	270	190	2.351.219	15.450	28.410
Susurluk	1.763.973	101.061	62.541	873	1.928.448	35.447	88.526
Sındırgı	1.324.000	16.000	89	164	1.340.253	30.995	104.000
İvrindi	1.800.000	20.980	816	319	1.822.115	47.865	127.363
<b>TOPLAM</b>	<b>26.160.569</b>	<b>6.868.436</b>	<b>72.446</b>	<b>116.658</b>	<b>33.218.109</b>	<b>538.682</b>	<b>1.189.854</b>

Balıkesir ilinde, büyükbaş hayvan varlığının en yüksek olduğu ilçe 117.923 adet hayvan ve %21,9'lik oran ile Merkez Altıeylül ve Karesi ilçeleri, en az olduğu ilçe 1.001 adet hayvan ve %0,18'lik oran ile Marmara ilçesidir. Balıkesir ilinde küçükbaş hayvan varlığının en yüksek olduğu ilçe 265.909 adet hayvan ve %22,3'lük oran ile Merkez Altıeylül ve Karesi ilçeleri, en az olduğu ilçe 9.357 adet hayvan ve %0,78'lik oran ile Erdek ilçesidir. Balıkesir ilinde kümes hayvan varlığının en yüksek olduğu ilçe 8.138.351 adet hayvan ve %24,4'lük oran ile Bandırma ilçesi, en az olduğu ilçe 630 adet hayvan ve %0,002'lik oran ile Marmara ilçesidir.

Balıkesir 2018 İl Tarım ve Orman Müdürlüğü verilerine göre Türkiye genelindeki iller arasında, büyükbaş hayvan sayısında 5.sırada, koyun sayısında 3.sıradadır. Kümes hayvanı sayısı için ördek sayısında 1., et tavuğu sayısında 3., yumurta tavuğu sayısında 5., hindi sayısında ise 8. sırada bulunmaktadır (BİTOM, 2019).

#### 2.4. Kullanılan Kabuller

Bilindiği üzere gübre üretimi hayvanların beslenme yoğunluğuna ve besin türüne, su içme sıklığına göre çok değişken olabilir. Bu çalışmada Balıkesir ilinin biyogaz potansiyelinin hesaplanması için daha önceki literatür çalışmaları incelenmiştir. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre gübre miktarı, biyogaz potansiyeli ve bunun elektriksel eşdeğeri hesaplanmasında bazı kabuller kullanılmıştır. ABD tarım bakanlığı tarafından yayınlanan raporda bir çiftlik hayvanı canlı ağırlığının yaklaşık %6-8'i kadar gübre üretebilir denilmektedir (NRCS, 2019a; ASAE, 2005).

Sığırların gübre üretim potansiyeli cinsine (yaş), cinsiyetine, kilosuna ve beslenme türüne bağlıdır. Genelde sığırlar için literatürde canlı ağırlığının %6-10 arasında yaş gübre üretir denilmektedir. Buradan hareketle boğalar, tosunlar, düveler ve buzağlar sırasıyla günlük 42 kg/gün, 37 kg/gün, 24 kg/gün, 12 kg/gün yaş gübre üretirler. Bir süt verebilen inek günlük canlı ağırlığının %8-10 kadar yaş gübre üretebilir. Bu rakam yaklaşık 48-68 kg/gün'e karşılık gelir (ASAE, 2005; Division, 2019). Buradan hareketle büyükbaş hayvanlarda yaş gübre üretim miktarı olarak inek, boğa, tosun, düve ve buzağlar sırasıyla günlük 58 kg/gün, 42 kg/gün, 37 kg/gün, 24 kg/gün, 12 kg/gün alınacaktır.

Günümüzde Balıkesir ilinde büyükbaş hayvancılık %93 gibi yüksek bir rakamla kültür ve kültür melezi ırklar üzerinden ve kapalı ahırlarda yapılmaktadır (TÜİK, 2019). Bu işle uğraşan kişilerin yaş ortalamasının yüksek olması, mera alanlarının hızla azalması, hayvan türlerinin yüksek ağırlığa ve süt verimine sahip kültür ırkı olmasından dolayı büyükbaş hayvancılık faaliyetlerinde meracılık faaliyetleri neredeyse yok olmuştur (Straße ve Ertem, 2011). Ayrıca büyük ölçekli hayvan çiftliklerinde de hayvanlar mevsim

koşullarına bağlı olarak tesisin yakınındaki kendi özel arazisinde otlatılmaktadır. Literatürde sürekli otlatma, kısıtlı süreli otlatma ve sürekli barınakta bakılma durumlarına göre elde olunacak gübre hesaplamaları yapılmıştır. Kısıtlı süreli otlatmada %67 ve sürekli barınakta bakılmada %100 gübre elde edilebileceği kabul edilmiştir. Yukarıdaki sebeplerden ötürü Balıkesir ilindeki büyükbaş hayvanlardan elde edilecek toplam yaş gübre miktarı hesabında yukarıdaki iki değer ortalama alınarak %84 geri kazanıldığı kabul edilecektir (NRCS, 2019b; SN, 2012).

Türkiye içerisindeki koyun türlerinin canlı ağırlığı 40-60 kg aralığındadır (EİDKKYB, 2019). Koyun canlı ağırlığının %4'ü kadar günlük yaş gübre üretimi söz konusudur. 50 kg bir koyun için bu rakam günlük yaklaşık 2 kg/gün'dür. Yavru küçükbaş hayvanlar için yetişkinlerin %60'ı kadar gübre ürettiği kabul edilecektir. Keçi için de aynı kabuller kullanılacaktır (SN, 2012). Literatürde küçükbaş hayvanlar için elde edilebilir gübre oranı %13 verilmektedir (Salihoğlu ve ark., 2019; Kaya ve ark., 2009; Başçetinçelik ve ark., 2003; Ekinci ve ark., 2010). Ancak Balıkesir ilinde hayvanlar mevsimsel koşullar izin verdiği sürece yaz kış günde 9-12 saat meraya çıkarılmaktadır. Dolayısıyla hayvanların günlük 12-15 saati ahılda geçmektedir. Buradan hareketle elde edilmesi muhtemel yaş gübre oranı %50 olarak alınacaktır.

Kümes hayvanları için %99 gübre elde edilebilirlik oranı kabul edilecektir (Kaya ve ark., 2009; Başçetinçelik ve ark., 2003). Sırasıyla broiler tavuğu, yumurta tavuğu, hindi ve ördek için 0,19 kg, 0,13 kg, 0,38 kg ve 0,33 kg yaş gübre ürettikleri referans alınmıştır (Ekinci ve ark., 2010).

Besi hayvanları, et tutmayı olumsuz etkilediği için meraya çıkarılmamaktadır. Dolayısıyla onlar için elde edilebilir gübre oranı %100'dür. Bu çalışmada farklı hayvan türleri için yaş gübre hesabında bu durum dikkate alınmamıştır.

Biyogaz verimi üreteç iç sıcaklığına, yükleme oranına ve kısım 2.1'de verilen pekçok değişkene bağlıdır. Literatür bilgilerine göre 1 ton uçucu katı maddeden (UKM) sırasıyla inek, et sığırları, küçükbaş ve kümes hayvanları için 180 m<sup>3</sup>, 330 m<sup>3</sup>, 300 m<sup>3</sup> ve 350 m<sup>3</sup> biyogaz elde edilebilir (Ekinci ve ark., 2010). Dolayısıyla 1 ton yaş sığır gübresinden yılda 33 m<sup>3</sup>, 1 ton yaş küçükbaş gübresinden ise yılda 58 m<sup>3</sup>, 1 ton yaş kümes hayvanı gübresinden yılda 78 m<sup>3</sup> biyogaz elde edileceği kabul edilmiştir (Kaya ve ark., 2009; Bayrak Isik ve Polat, 2018; EİGM, 2019).

Biyogazın %50-%70'i metan gazıdır. Bileşimindeki metan oranına göre ısı değeri 20-25 MJ/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir (Bond ve Templeton, 2011). Bu sebeple 1m<sup>3</sup> biyogazın ısı eşdeğeri 22,5 MJ/m<sup>3</sup> kabul edilmiştir. 22,5 MJ ısı enerjinin elektrik enerjisi eşdeğeri 6,11 kWh'tir. Ancak biyogazdan elektrik enerjisi üretimi kojenerasyon sistemi ile yanma enerjisinin mekanik enerjiye dönüşümü yoluyla yapılmaktadır. Kojenerasyon santrallerinin elektriksel verimi de %35-40 aralığında değişmektedir. %37,5 verime sahip bir kojenerasyon santrali için 1 m<sup>3</sup> biyogazın elektriksel eşdeğeri 2,29 kWh olarak kabul edilecektir. Biyogaz potansiyeli hesaplamasında kullanılacak kabuller Tablo 2'de birarada verilmiştir.

Tablo 2. Biyogaz Potansiyeli Hesaplamasında Kullanılacak Teknik Veriler

	Hayvan Cinsi	Yaş Gübre Miktarı kg/gün	Elde Edilme Oranı	Biyogaz Eşdeğeri m <sup>3</sup> /ton	Isıl Eşdeğeri MJ/m <sup>3</sup>	Elektriksel Eşdeğeri kWh/m <sup>3</sup>	TEP 1/MJ
Büyükbaş	İnek	58	0,84	33	22,5	2,29	23,8846.10 <sup>-5</sup>
	Boğa	42	0,84	33			
	Tosun	37	0,84	33			
	Düve	24	0,84	33			
	Buzağı	12	0,84	33			
Küçükbaş	Koyun-Keçi (yetişkin)	2	0,50	58			
	Koyun-Keçi (yavru)	1,2	0,50	58			
Kümes hayvanı	Broiler	0,19	0,99	78			
	Yumurta tavuğu	0,13	0,99	78			
	Hindi	0,38	0,99	78			
	Ördek	0,33	0,99	78			

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Balıkesir iline ait hayvansal kaynaklı biyogaz potansiyelinin hesabı için öncelikle Balıkesir genelindeki hayvan sayılarına ve önceki bölümde verilen kabullere dayanılarak toplam gübre miktarı aşağıdaki denklem ile hesaplanmıştır.

$$TGM = HS.EEO.YGM \cdot \frac{365}{1000} \quad (1)$$

Denklemden TGM (toplam gübre miktarı) ton/yıl olarak bir yılda hayvanlardan elde olunacak yaş gübre miktarını, HS (hayvan sayısı) il genelindeki toplam hayvan sayısını, EEO (elde edilme oranı) yüzde olarak hayvanlardan elde olunabilecek yaş gübre oranını,

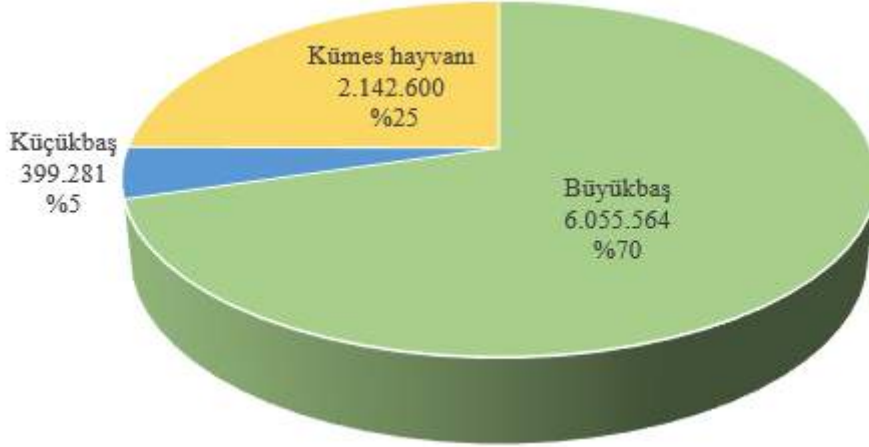


YGM (yaş gübre miktarı) kg/hayvan-gün bir günde bir hayvan tarafından üretilen yaş gübre miktarını, göstermektedir. Tablo 3'te hayvan cinslerine göre elde edilebilir toplam yaş gübre miktarları hesaplanmıştır.

Tablo 3. Hayvan Cinslerine Göre Yaş Gübre Miktarları

	Hayvan Cinsi	Toplam Hayvan Sayısı (adet)	Hayvan Sayısı (adet)	Toplam Gübre (ton/yıl)	TOPLAM (ton/yıl)
Büyükbaş	İnek	538.682	228.319	4.060.151	6.055.564
	Boğa		11.215	144.418	
	Tosun		62.041	703.806	
	Düve		74.697	549.650	
	Buzağı		162.410	597.539	
Küçükbaş	Koyun-Keçi (yetişkin)	1.189.854	950.017	346.756	399.281
	Koyun-Keçi (yavru)		239.837	52.524	
Kümes hayvanı	Broiler	33.218.109	26.160.569	1.796.093	2.142.600
	Yumurta tavuğu		6.868.436	322.648	
	Hindi		72.446	9.948	
	Ördek		116.658	13.911	

Balıkesir 2018 İl Tarım ve Orman Müdürlüğü verilerine göre Türkiye genelindeki iller arasında, büyükbaş hayvan sayısında 5.sırada, et tavuğu sayısında 3. ve yumurta tavuğu sayısında 5. sırada bulunmaktadır (BİTOM, 2019). Şekil 2'den görüleceği üzere Balıkesir il genelindeki elde edilebilir toplam yaş gübre miktarı %70 oranında büyükbaş hayvan kaynaklıdır. Ancak Balıkesir broiler ve yumurta tavukçuluğunda Türkiye'nin önde gelen illerinden olması hasebiyle %25 gibi önemli miktarda kümes hayvanı gübresine de sahiptir.



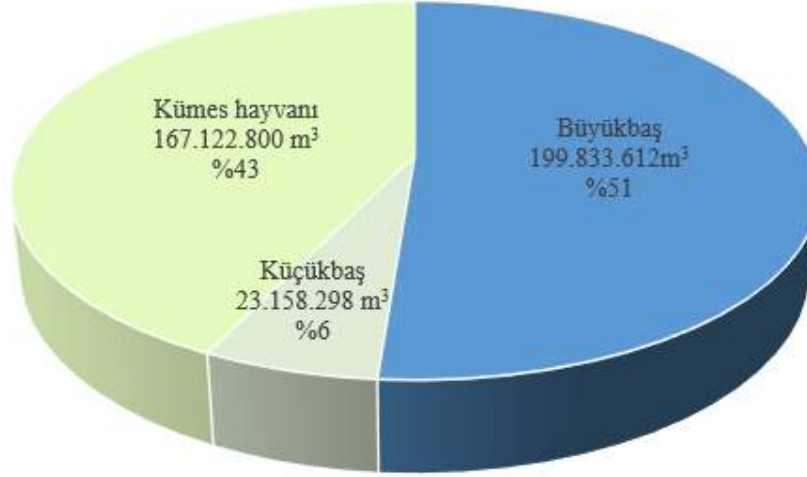
Şekil 2. İl Genelindeki Toplam Yaş Gübre Dağılımı

Toplam gübre miktarı hesaplandıktan sonra tablo 2'de ki kabuller kullanılarak toplam biyogaz potansiyeli ve bu gazın ısı, elektriksel ve TEP eşdeğerleri Tablo 4'te hesaplanmıştır.

Tablo 4. Toplam Biyogaz Potansiyeli ve Enerji Eşdeğeri

	Gübre (ton/yıl)	Biyogaz Eşdeğeri (m <sup>3</sup> /yıl)	Isıl Eşdeğeri (MJ/yıl)	Elektriksel Eşdeğeri (MWh/yıl)	TEP
Büyükbaş	6.055.564	199.833.612	4.496.256.270	457.619	107.391
Küçükbaş	399.281	23.158.298	521.061.705	53.033	12.445
Kümes hayvanı	2.142.600	167.122.800	3.760.263.000	382.711	89.812
TOPLAM	8.597.445	390.114.710	8.777.580.975	893.363	209.649

Bilindiği üzere her hayvan türünün farklı biyogaz üretebilme potansiyeli vardır. Bu kapsamda hayvan sayıları ve hayvan gübrelerinin toplam miktarları üzerinden bir karşılaştırma doğru bir değerlendirme yapmaya engeldir. Bu sebeple hayvan türlerine göre elde olunabilecek biyogaz miktarları üzerinden bir değerlendirme Şekil 3'de gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre Balıkesir ilinde hayvansal kaynaklı biyogaz potansiyelinin %51'i büyükbaş hayvanlar, %43'ü kümes hayvanları, %6'sı da küçükbaş hayvanlarından elde edilebilecek atıklardan oluşmaktadır.



Şekil 3. Kaynaklara Göre Biyogaz Potansiyeli Dağılımı

Balıkesir, Tablo 4'e göre, yıllık 893.393 MWh sadece hayvansal atık kaynaklı biyogazdan elektrik enerjisi üretim potansiyeline sahiptir. Bir elektrik santralının yılda 8.000 saat çalışacağı düşünüldüğünde 112 MW'lık bir BES kurulabilir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan Türkiye Biyokütle Enerjisi Potansiyel Atlasına göre Balıkesir ilinde biyokütle kaynaklı toplam kurulu gücü 35,75 MW 3 adet lisanslı biyokütle elektrik santrali bulunmaktadır. Bu santrallerin 1 tanesi Bandırma diğerleri Gönen ilçesi sınırlarında bulunmaktadır. Santraller tarımsal ve hayvansal atıkların birlikte kullanıldığı santrallerdir. 30 MW ile en büyük kurulu güce sahip olan santral, sadece orman atıklarından elektrik üretmektedir [9]. Halihazırda çeşitli güçlerde inşa halinde olan toplamda 4,55 MW'lık 4 adet hayvansal atık kullanacak biyogaz elektrik santrali vardır. Sonuç itibariyle Balıkesir il sınırları dahilinde toplam biyogaz elektrik santrali potansiyeli 112 MW iken bunun sadece 10,30 MW'lık yaklaşık %10'luk bir kısmı kullanılabilir durumdadır.

Güney marmara kalkınma ajansı tarafından hazırlanan 2017 Yılı Eylem Planında Balıkesir ili toplam biyogaz potansiyeli yaklaşık 800.000 m<sup>3</sup>/gün olarak belirlenmiştir (GMKA, 2017). Yapmış olduğumuz hesaplamalara göre 2018 yılı için bu rakam 1.068.807 m<sup>3</sup>/gün olarak tahmin edilmiştir.

Balıkesir ilinde, büyükbaş hayvan varlığının en yüksek olduğu ilçe 117.923 adet hayvan ve %21,9'lik oran ile Merkez Altıeylül ve Karesi ilçeleridir. İlçelerin hayvan yoğunlukları değerlendirilirken gübre toplanabilirliği ve taşınabilirliği açısından 20 baş ve üstü ile 50 baş ve üstü ayrı ayrı dikkate alınmıştır. Bu kapsamda 20 baş ve üzeri hayvana sahip işletmelerin toplam hayvan varlığı Marmara ve Erdek ilçeleri haricinde her ilçe için 1000'in üzerindedir. Dursunbey ve İvrindi ilçelerinde 20 baş ve üzeri büyükbaş hayvan varlığı 1000'den fazla olmasına rağmen bu ilçedeki büyükbaş hayvanların %72-78'i 20 baş altında olup aile işletmelerinde bulunmaktadır. 50 baş ve üzeri hayvan varlığı olan işletmelere göre değerlendirdiğinde Marmara, Erdek ve Gömeç ilçeleri haricinde bütün ilçelerde 1000'in üzerindedir. İl genelinde 20 baş ve üzeri hayvana sahip işletmelerdeki hayvan sayısı toplam hayvan sayısının %56'sı iken, 50 baş ve üzeri hayvana sahip işletmelerdeki hayvan sayısı %27'ye karşılık gelmektedir. Daha çok sayıda hayvana sahip işletmelerdeki atıkların toplanması ve taşınması daha kolay ve ekonomik olmaktadır.

Balıkesir ilinde küçükbaş hayvan varlığının en yüksek olduğu ilçe 265.909 adet hayvan ve %22,3'lük oran ile Merkez Altıeylül ve Karesi ilçeleri, en az olduğu ilçe 9.357 adet hayvan ve %0,78'lik oran ile Erdek ilçesidir. Balıkesir ilinde kümes hayvan varlığının en yüksek olduğu ilçe 8.138.351 adet hayvan ve %24,4'lük oran ile Bandırma ilçesi, en az olduğu ilçe 630 adet hayvan ve %0,002'lik oran ile Marmara ilçesidir.

#### 4. Sonuç

Ülkemizde nüfus artışına bağlı olarak artan hayvancılık faaliyetleri geleneksellikten entansif hayvancılık faaliyetlerine evrilmiş durumdadır. Bugüne kadar aile işletmelerinde yapılan hayvancılık faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan atıklar, doğal gübre olarak araziye atılarak bertaraf edilmektedir. Ancak çok sayıda hayvana sahip entansif çiftliklerde ortaya çıkan büyük miktarda atıklar doğaya olan olumsuz etkileri kadar yerüstü ve yer altı suları içinde önemli bir kirletici kaynağıdır. Dolayısıyla büyük ölçekli hayvancılık işletmeleri kurulurken bu tesislerin ortaya çıkardığı atıkların bertaraf konusu da planlamalara dahil edilmelidir. Bu amaçla büyük ölçekli yetiştiricilik yapılan tesislerin yakınlarında biyogaz elektrik santrallerinin de birlikte kurulumu teşvik edilmelidir.

Balıkesir genelinde 112 MW'lık bir biyogaz elektrik santrali potansiyeli bulunmaktadır. Bu rakam Türkiye'nin mevcut biyokütle kurulu gücünün %17'sine karşılık gelmektedir. Halihazırda çalışan ve inşa edilen santraller ile bu potansiyelin %10,3 gibi çok küçük bir kısmı değerlendirilmektedir. Balıkesir il genelinde 2018 yılı verilerine göre 50 baş ve üzeri büyükbaş hayvana sahip toplam 1.383 işletmede 138.610 sığır bulunmaktadır. Bu işletmeler Bandırma-Gönen ve Altıeylül-Karesi-Bigadiç-Susurluk ilçelerinde yoğunlaşmıştır. Aynı şekilde Ayvalık-Gömeç-Edremit-Havran-Marmara ilçeleri haricindeki bütün ilçelerde 130.000 ve üzerinde kümes hayvanı bulunmaktadır. Dolayısıyla büyük miktarlardaki bu hayvansal atıkların hem çevre kirliliği yapmaması hem de yerli ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak ülkemiz ekonomisine kazandırılması büyük önem arz etmektedir.

## Kaynakça

- Abade, C.C., Fregonesi, J.A., Von Keyserlingk, M.A.G. & Weary, D.M. (2015). Dairy Cow Preference And Usage Of An Alternative Freestall Design. *Journal Dairy Science*, 98(2), 960-5.
- ASAE, (2005). Manure Production and Characteristics. ASAE Standard, March (D384.2), 1–19.
- Başçetinçelik, A., Öztürk, H.H., Karaca, C., Kaçıra, M., Ekinci, K., Kaya, D., Baban, A., Güneş, K., Komitti, N., Barnes, I. & Nieminen, M. (2003). A Guide on Exploitation of Agricultural Residues in Turkey. LIFE03TCY/TR/000061, ANNEX 14 Final Report.
- Bayrak Işık, E.H., Polat, F. (2018). The Biogas Potential That Can Be Obtained From The Animal Wastes Of Tokat Province. *Gaziosmanpaşa Journal of Scientific Research*, 7(3), 93-100.
- BBB, (2019). Balıkesir Büyükşehir Belediyesi, Nazım İmar Planı Plan Açıklama Raporu, <https://www.balikesir.bel.tr/documents/imar/2019/haziran/25.05.2019/4/5000Rapor.pdf> Erişim Tarihi: 15 Haziran 2019.
- BİTOM, (2019). Balıkesir İl Tarım Ve Orman Müdürlüğü, 2018 Yılı Faaliyet Raporu.
- Bond, T. & Templeton, M.R. (2011). History And Future Of Domestic Biogas Plants In The Developing World. *Energy Sustainable Development*, 15(4), 347–354.
- Cantrell, K. B., Ro, K. S., Szögi, A. A., Vanotti, M. B., Smith, M. C., & Hunt, P. G. (2012). Green Farming Systems for The Southeast USA Using Manure-to-Energy Conversion Platforms. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 4(4), 1–12.
- Çağlayan, G. H., & Koçer, N. N. (2014). Muş İlinde Hayvan Potansiyelinin Değerlendirilerek Biyogaz Üretimini Araştırılması. *Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1), 215–220.
- Division, S. C. A. (2019). A geographical profile of livestock manure production in Canada 2006. <http://www.statcan.gc.ca/pub/16-002-x/2008004/article/10751-eng.htm#a3> Erişim Tarihi: 25 Haziran 2019.
- EİDKKYB, (2019). Eskişehir İli Damızlık Koyun Keçi Yetiştiricileri Birliği, [http://eskisehirkovunkeci.org/?page\\_id=18](http://eskisehirkovunkeci.org/?page_id=18) Erişim Tarihi: 15 Haziran 2019.
- EİGM, (2019). Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyogaz.aspx> Erişim Tarihi: 25 Haziran 2019.
- Ekinci, K., Külcü, Kaya, R.D., Yıldız, O., Ertekin, C. & Öztürk, H.H. (2010). The Prospective Of Potential Biogas Plants That Can Utilize Animal Manure In Turkey. *Energy Exploration & Exploitation*, 28(3), 187-206.
- ETKB, (2019). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Türkiye Biyokütle Enerjisi Potansiyel Atlası, <http://bepa.yegm.gov.tr/> Erişim tarihi: 15 Temmuz 2019.
- Gamal-El-Din, H. (1986). Biogas Production from Antibiotic-Contaminated Cow Manure. *Biogas Technology, Transfer and Diffusion*, 7, 480–487.
- GMKA, (2012). Güney Marmara Kalkınma Ajansı, Bandırma Koyunculuk Araştırma İstasyonu Müdürlüğü, Balıkesir İlinin Organik Büyükbaş ve Küçükbaş Hayvancılık Olanaklarının Belirlenmesi.
- GMKA, (2017). Güney Marmara Kalkınma Ajansı. Balıkesir Yatırım Destek Ve Tanıtım Stratejisi (2017-2023) Ve 2017 Yılı Eylem Planı.
- GMKA, (2019). Güney Marmara Kalkınma Ajansı, Balıkesir Tarım ve Hayvancılık Yatırım Rehberi.
- Gülen, J., & Arslan, H. (2005). Biyogaz. *Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 4, 121–129.
- Hayvansal Atıkların Biyogaz Yoluyla Kaynak Verimliliği Esasında ve İklim Dostu Kullanımı Projesi, Türk-Alman Biyogaz Projesi. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- Kaya, D., Çağman, S., Eyidoğan, M., Aydoğan, C., Çoban, V. & Tırıs, M. (2009). Türkiye'nin Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyeli ve Ekonomisi. *Atık Teknolojileri Dergisi*, (1), 48-51.
- Massé, D.I., Saady, N.M.C., Gilbert, Y. (2014). Potential of Biological Processes to Eliminate Antibiotics in Livestock Manure: An Overview. *Animals*, 4(2), 146-163.
- McKendry, P (2002). Energy Production From Biomass (part 1): Overview of Biomass. *Bioresource Technology*, 83 (1), 37–46.
- Montzka, S. A.; Dlugokencky, E. J. & Butler, J. H. (2011). Non-CO2 Greenhouse Gases And Climate Change. *Nature*, 476(7358), 43–50.
- NRCS, (2019a). The U.S. Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service (NRCS). <https://lpecl.org/animal-agriculture-in-the-u-s-trends-in-production-and-manure-management/> Erişim Tarihi: 17 Haziran 2019.
- NRCS, (2019b). The U.S. Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service (NRCS). [https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/null/?cid=nrcs143\\_014211](https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/null/?cid=nrcs143_014211) Erişim Tarihi: 25 Haziran 2019.
- Ogejo, J., Wen, Z., Ignosh, J., Bendfeldt, E., & Collins Jr., E. (2009). Biomethane Technology. Virginia Cooperative Extension, (Publication 442-881), 1–11.
- P. J. Magistretti, A. A., Pellerin, L., Rothman, D. L. & Shulman, R. G. (1999). Energy on Demand. *Science* (80-. ), 283 (5401), 496–497.
- Salihoğlu, N.K., Teksoy, A. & Altan, K. (2019). Büyükbaş Ve Küçükbaş Hayvan Atıklarından Biyogaz Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi: Balıkesir İli Örneği. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(1), 31-47.
- Solomie, A.G., Miranda, P.M.M. & Alfons, G.J.M. (2010). Costs of Producing Biogas at Dairy Farms in The Netherlands. *Int. J. Food System Dynamics*, (1), 26-30.
- Sözer, S. & Yıldız, O. (2011). Muz Serası Atıkları ve Sığır Gübresi Karışımlarından Mezofilik Fermantasyon Sonucu Üretilebilecek Biyogaz Miktarının Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 4 (2), 75–78.
- S.N., (2012). Statistics Netherlands. Standardised Calculation Methods For Animal Manure And Nutrients.

- Straße, T. & Ertem, F.C., (2011). Türkiye'de Biyogaz Yatırımları İçin Geçerli Koşulların ve Potansiyelin Değerlendirilmesi. Türkiye'de Hayvansal Atıkların Biyogaz Yoluyla Kaynak Verimliliği Esasında ve İklim Dostu Kullanımı Projesi, Türk-Alman Biyogaz Projesi. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 31.
- Suganthi, L., & Samuel, A. A. (2012). Energy Models For Demand Forecasting - A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews.
- TEİAŞ, (2018). Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü. Türkiye Elektrik Enerjisi 5 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu (2018-2022).
- TÜİK, (2019). 2018 Yılı Balıkesir Hayvancılık İstatistikleri, <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr> Erişim Tarihi: 15 Haziran 2019.
- TÜSİAD, (2011). Vizyon 2050 Türkiye, no. TÜSİAD-T/2011-09/518.
- WEC, (2013). World Energy Scenarios: Composing Energy Futures To 2050. Report, 1-288.
- Wuebbles, D. (2002). Atmospheric Methane And Global Change. Earth-Science Reviews, (57), 177-210.
- Yaldız, O., Weckenmann, D., & Öchsner, H. (1998). Sürekli Akışlı Bir Biyogaz Tesisi Ve Gaz Motorunda Enerji Üretiminin İrdelenmesi. Tarımsal Mekanizasyon 18. Ulusal Kongresi.
- Yılmaz, A. (2019). Türkiye'de Biyogaz Üretimi ve Kurulu Santrallerin Ürettiği Elektrik Enerjisi. Ecological Life Sciences (NWSAELS), 14(1), 12-28.



# Mamak (Ankara) Çalışan Petrol Sisteminin Jeokimyasal Kanıtı Olarak Olgun Hidrokarbonlarca Zengin Sular ve Bölgedeki Potansiyel Kapan Alanı

Adil ÖZDEMİR<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Adil Özdemir Danışmanlık, Ankara, Türkiye

(İlk Geliş Tarihi 9 Temmuz 2019 ve Kabul Tarihi 21 Ekim 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.589253)

**ATIF/REFERENCE:** Özdemir, A. (2019). Mamak (Ankara) Çalışan Petrol Sisteminin Jeokimyasal Kanıtı Olarak Olgun Hidrokarbonlarca Zengin Sular ve Bölgedeki Potansiyel Kapan Alanı. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (17), 244-260.

## Öz

Bu çalışma, Mamak (Ankara) bölgesinin jeokimyasal çalışmalar, tektonik ve jeofizik veriler ile petrol ve doğalgaz potansiyelinin değerlendirilmesi için yapılmıştır. Çalışma, üç aşamada yürütülmüştür. Birinci aşamada, literatürden çalışma alanının jeolojik özellikleri incelenmiştir. Böylece, jeokimyasal analizler ve jeofizik veri değerlendirmeleri için gerekli olan jeolojik veriler derlenmiştir. İkinci aşamada, çalışma alanının manyetik ve gravite haritaları hazırlanmıştır. Jeolojik ve jeofizik verilerin birlikte değerlendirilmesi sonucunda, çalışma alanında petrol kapanı olabilecek bir yapı belirlenmiştir. Üçüncü aşamada, belirlenen bu yapı üzerindeki ve çevresindeki çeşmelerinden (hayratlardan) alınan su numunelerinde Toplam Petrol Hidrokarbonları (TPH) analizleri yapılarak belirlenen yapının petrol ve doğalgaz potansiyeli değerlendirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, su numunelerin tamamında hidrokarbonlar tespit edilmiştir. Sulara tespit edilen hidrokarbonların kaynağının belirlenmesi için organik jeokimyasal yöntemler kullanılmıştır. Su numunelerinde belirlenen n-alkan hidrokarbonlar, olgun petrol hidrokarbonlarıdır. Bu olgun petrol hidrokarbonları, çalışma alanında çalışan bir petrol sisteminin varlığı için kanıttır. Olgun petrol hidrokarbonları içeren suların varlığı nedeniyle, gravite ve manyetik verilere göre çalışma alanında belirlenen maksimum 330 m derinliğindeki yapının bir petrol ve/veya doğalgaz rezervuarı olma potansiyeli oldukça yüksektir.

**Anahtar Kelimeler:** Karakaya karmaşığı, Mamak, petrol ve doğalgaz arama, organik jeokimya, suda petrol analizi, hidrokarbonca zengin sular, hareketli hidrokarbonlar, yeraltısuyu kirliliği

## Mature Hydrocarbons-rich Waters as Geochemical Evidence of Working Petroleum System of Mamak (Ankara) and Potential Trap Area in the Region

### Abstract

This study is made to evaluate the oil and gas potential of the Mamak (Ankara) region with geochemical surveys, geophysical, and tectonic data. The study was conducted in three steps. In the first step, the geological characteristics of the study area from the literature were examined. Thus, the geological data to be required for geochemical analysis and geophysical data evaluations were compiled. In the second step, aeromagnetic and gravity maps of the study area were prepared. As a result of evaluating these data together, a structure that could be a petroleum trap was determined in the study area. In the third stage, total petroleum hydrocarbons (TPH) analyses in the samples taken from the water fountains on and around this determined structure were conducted and the oil and gas potential of the determined structure were evaluated. As a result of this analysis, it has been determined hydrocarbons in all water samples. To determine the source of hydrocarbons in the waters have used organic geochemical methods. The n-alkane hydrocarbons in water samples are mature petroleum hydrocarbons. The mature hydrocarbons are evidence for a working petroleum system in the study area. Due to the presence of waters containing mature petroleum hydrocarbons, the structure in maximum 330 m depth determined in the study area according to gravity and magnetic data has very high potential to become an oil and/or gas reservoir.

**Keywords:** Karakaya complex, Mamak, oil and gas exploration, organic geochemistry, oil in water analysis, hydrocarbon-rich waters, mobile hydrocarbons, groundwater contamination

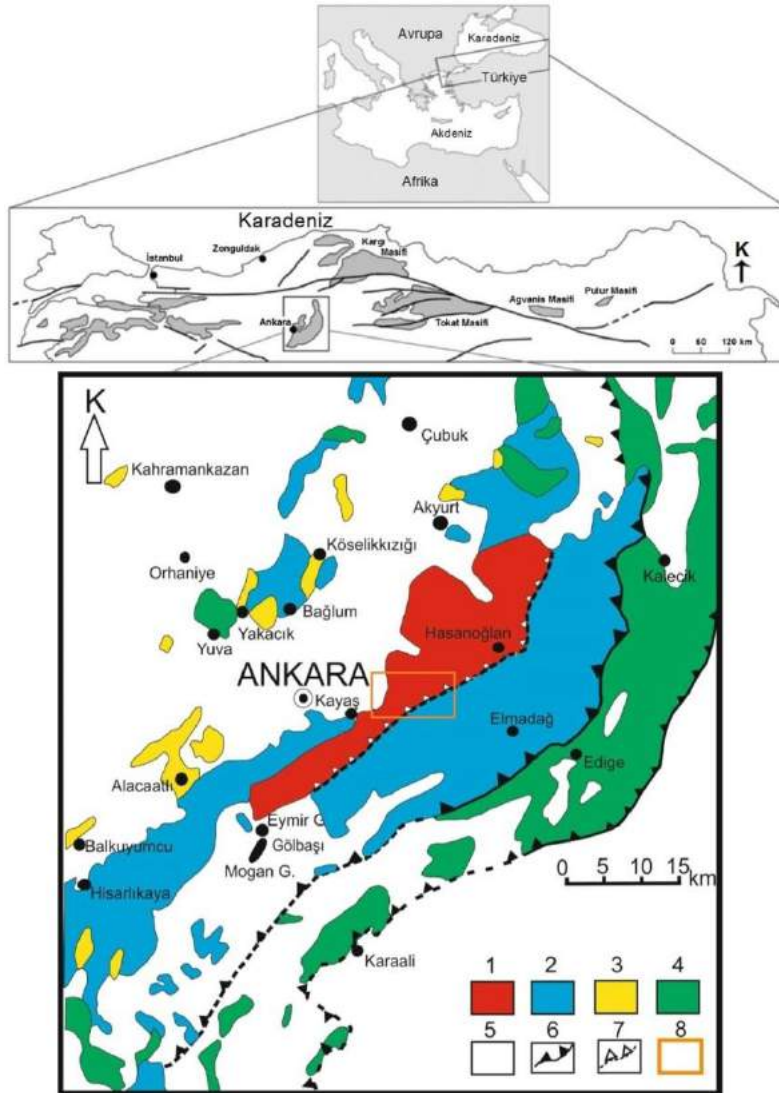
\* Sorumlu Yazar: Adil Özdemir Danışmanlık, Ankara, Türkiye, ORCID: 0000-0002-3975-2846, [adilozdemir2000@yahoo.com](mailto:adilozdemir2000@yahoo.com)



## 1. Giriş

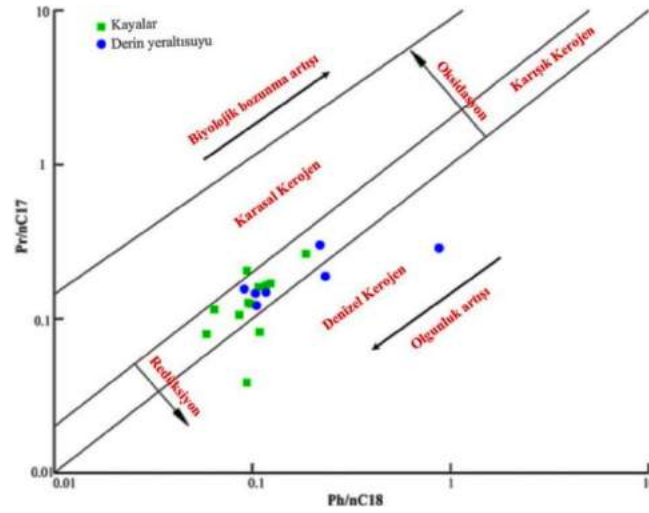
Çalışma alanı olan Mamak (Ankara) bölgesinde (Şekil 1), geniş alanlar kaplayan Karakaya karmaşığı üzerine çok sayıda genel jeoloji amaçlı araştırma yapılmıştır (Sayit, 2010; Okay ve Göncüoğlu, 2004; Bozkurt, 1990; Çelik, 1989; Koçyiğit, 1987). Bu çalışma ise, inceleme alanının ana birimi olan Karakaya karmaşığının petrol ve doğalgaz potansiyelinin değerlendirilmesini amaçlamaktadır. Çalışma alanında geniş yayılım sunan Karakaya karmaşığının bu çalışmada petrol ve doğalgaz potansiyelinin değerlendirilmesinin nedeni, Hasanoğlan (Ankara) bölgesinde yapılan öncel çalışmada (Özdemir, 2019a), Karakaya karmaşığı birimleri ile ilişkili olan sulardan alınan örneklerde olgun ham petrol (petrojenik) hidrokarbonlarının belirlenmiş olmasıdır.

Çalışma alanı ve civarında üç ana jeolojik birim görülmektedir. Bunlar; yaşlıdan gence doğru Karakaya karmaşığı, Ankara grubu, Anadolu karmaşığı ve örtü kayalarıdır (Şekil 1). Karakaya karmaşığı kuvvetli şekilde deforme, bazı kısımları metamorfizmaya uğramış Permiyen ve Triyas yaşlı birimlerden oluşur. Karakaya karmaşığı, alt ve üst olmak üzere iki alt birime ayrılmıştır. Alt Karakaya karmaşığı; mafik lav, mafik piroklastik kaya, şeyl ve kireçtaşı ardalanmasından oluşur. Üst Karakaya karmaşığı ise; kırıntılı sedimanter, volkanoklastik ve volkanik kayalardan meydana gelir. Üst Karakaya karmaşığı içinde, çok sayıda Karbonifer ve Permiyen yaşlı kireçtaşı bloğu bulunmaktadır. Ankara grubu, Geç Jura-Erken Kretase yaşlı olup, birim arasındaki ilişki, tektoniktir. Yaşlı birimlerin tamamı, Geç Kretase-Kuvaterner yaşlı birimler tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir (Sayit, 2010; Bozkurt, 1990; Koçyiğit, 1987). Karakaya Karmaşığı; bir rift veya Jura-öncesi Paleotetis okyanusunun kapanması ile oluşan dalma-batma yığışım prizması veya her iki ortamın kalıntılarını temsil eden birimlerden oluşmakta ve iki bölüme ayrılmaktadır (Şekil 1). Alt Karakaya karmaşığı, Paleozoyik sonu veya Triyas'ta metamorfizma geçirmiş mavişist ve yeşilşist fasiyesi (metapelitler; sleyt, fillit, şist; metasilttaşı, metakumtaşı, metakireçtaşı, metadolomit, mermer, metavolkanik, metatüfit, metabazalt, metagabro, metadiyabaz) kayaları ile temsil edilmektedir. Üst Karakaya karmaşığı, içerisinde çok sayıda Permokarbonifer yaşlı ortama yabancı kireçtaşı blokları içeren Permiyen ve Triyas yaşlı kuvvetlice deforme olmuş metakumtaşları, metapelitik kayalar (çamurtaşı, şeyl, sleyt, silttaşı), spilitik metabazalt/bazalt-aglomeraları ve metakireçtaşlarından oluşmaktadır (Tetiker ve diğ., 2015).



Şekil 1. Karakaya karmaşığının Türkiye kuzeyindeki dağılımı (üst haritadaki gri renkli alanlar) ve Ankara'nın basitleştirilmiş jeoloji haritası. 1. Üst Karakaya napı, 2. Alt Karakaya napı, 3. Ankara grubu, 4. Anadolu napı, 5. Örtü kayaları, 6. Bindirme fayı, 7. Ters fay, 8. Çalışma alanı (Sayit, 2010; Bozkurt, 1990; Koçyiğit, 1987'den düzenlenmiştir).

Liu ve diğ. (2018), Kuzeybatı Guizhou (Çin) Triyas akiferlerinin yeraltısuyu numunelerinde yaptıkları gaz kromatografisi analizlerinde, ham petrol kökenli n-alkan hidrokarbonları tespit etmişlerdir. Hidrokarbon miktarı  $> 0.05$  mg/l olan yeraltısularını, hidrokarbonca zengin yeraltısuyu olarak tanımlamışlardır (Çin standartlarına göre ikinci derecede içmesuyu kaynağı). Çalışma alanında 5 yıl süreyle yapılan yeraltısuyu gözlemlerinde, yeraltısularındaki petrol hidrokarbonu miktarının daima  $> 0.05$  mg/l olduğu bildirilmiştir. Düşük düzeydeki antropojenik kirlenmenin, bölgedeki hidrokarbonca zengin yeraltısularını üretmeyeceği belirlenmiştir. Bölgedeki kayaçların hidrokarbon potansiyelinin ve sığ yeraltısularındaki hidrokarbonların kaynağının belirlenmesi ve karşılaştırılması için organik jeokimyasal ve biomarker karakteristikleri kullanılmıştır. Bölgedeki kayaçlarda yapılan organik jeokimyasal değerlendirmelerde, kayaçların yüksek hidrokarbon potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. Yeraltısularında tespit edilen hidrokarbonların, orijinal hidrokarbonlar olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, bölgedeki kayaç ve derin yeraltısularından alınan numunelerin organik jeokimyasal ve biomarker karakteristiklerinin birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür (Şekil 2). Sığ akiferlerdeki hidrokarbon miktarının, su-kayaç-hidrokarbon etkileşimi ile arttığı belirlenmiştir. Sığ yeraltısularından daha ziyade, derin yeraltısularında bölgedeki kayaçlardakine benzer dağılım gösteren doymuş karbonlar bulunduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre, sığ ve derin yeraltısularındaki yüksek miktardaki orijinal hidrokarbonların kaynağının, bölgedeki yüksek hidrokarbon potansiyelli kayaçlardan hidrokarbon salınımı olduğu belirtilmiştir.



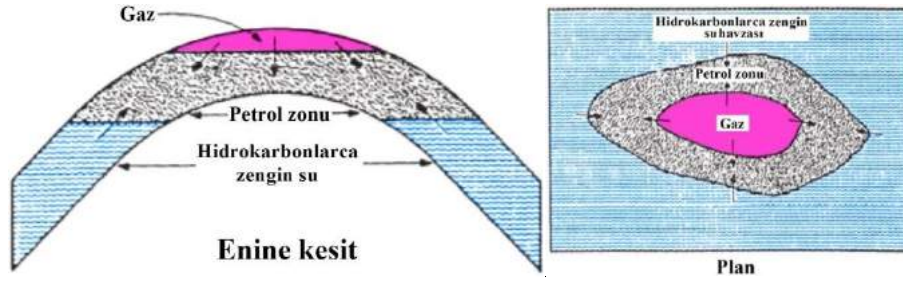
Şekil 2. Aynı bölgeden alınan kaynak kaya ve derin yeraltısuyu numunelerinin Pr/n-C17-Ph/n-C18 diyagramı (Liu ve diğ., 2018)

Özdemir (2018) çalışmasında, Suda Petrol (TPH) analizinin petrol ve doğalgaz aramada kullanılabilirliğinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, Yüksekova (Hakkari), Ulukışla (Niğde) ve Hasanoğlan (Ankara) bölgeleri yeraltısularında yapılan TPH analizlerine ait sonuçlar, aynı bölgedeki klasik petrol jeokimyası analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Her üç bölgede yapılan hidrojeokimyasal analiz ve değerlendirme sonuçları ile su numunelerinin alındığı bölgedeki kaynak kaya ve gaz örneklerinde yapılan organik jeokimyasal analiz sonuçları ve değerlendirmeleri birbiri ile uyumlu çıkmıştır (Li ve diğ., 2018 çalışmasında olduğu gibi). İncelenen su numunelerinin tamamının TPH değerlerinin yeraltısuları için önerilen sınır değerden oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca, her üç bölge sularında da ham petrol kaynaklı n-alkan hidrokarbonlar tespit edilmiştir. TPH değerinin, kaynak kaya tarafından üretilmiş ve rezervuar kayaya gönderilmiş olgun hidrokarbonları temsil ettiği ve TPH  $> 0.5$  mg/l değerine sahip ve olgun hidrokarbon içeren yeraltısularının, bulunduğu bölgedeki petrol ve doğalgaz yatakları ile ilişkili sular olduğu belirtilmiştir. Çalışmada, rezervuar hedefli suda TPH analizlerinin petrol aramacılığında pratik ve etkili bir jeokimyasal yöntem olarak kullanılabileceği ve bu yöntemle petrol ve doğalgaz yatakları bulduran havzaların belirlenebileceği sonucuna ulaşıldığı bildirilmiştir. Diğer jeolojik ve jeofizik yöntemler ile birlikte kullanılması durumunda da, hidrokarbon arama riskini en aza indirmek ve ticari üretim yapılabilir yeni petrol ve doğalgaz yataklarının keşfedilebilmesi için pratik ve etkili bir araç olarak kullanılabileceği ve arama risk ve maliyetlerinin büyük ölçüde azaltılabileceğinin düşünüldüğü bildirilmiştir. Çalışmada, bir petrol ve/veya doğalgaz rezervuarı etrafında olgun hidrokarbonlarca zengin bir su havzasının bulunduğu belirtilmiştir (Şekil 3). Dolayısıyla, çalışma alanında bir petrol ve/veya doğalgaz rezervuarının var olması durumunda, çalışma alanındaki yeraltısularının hidrokarbonca zengin olması gereklidir.

Özdemir (2019a) çalışmasında, Hasanoğlan (Ankara) soğuksu çeşmelerinden (hayratlardan) topladığı numunelerde yaptığı TPH analizlerinde, ham petrol kökenli (petrojenik) n-alkan hidrokarbonları tespit etmiştir. Çalışmada, su numunelerindeki hidrokarbonların kökeni, olgunluk durumları, çökeltme ortamları vb. organik jeokimyasal açıdan yorumlanmıştır. Olgun petrol hidrokarbonlarca zengin suların üretim yapılabilir bir petrol sisteminin kanıtı olduğu belirtilmiştir. Olgun petrol hidrokarbonlarınca zengin su kaynaklarının varlığı nedeniyle, Hasanoğlan bölgesinin yüksek petrol ve doğalgaz potansiyeline sahip olduğu bildirilmiştir.

Özdemir (2019b) çalışmasında, Büyük Menderes grabeninin (Batı Anadolu) batı kısmında, Aydın ili sınırları dahilinde elektrik üretimi amaçlı olarak kullanılan, yüksek sıcaklıklı ( $> 150$  °C) buhar baskın akışkan içeren ve derinlikleri 1500 - 2500 m olan jeotermal kuyulardan topladığı su numunelerinde yaptığı TPH analizlerinde, ham petrol kökenli (petrojenik) n-alkan hidrokarbonları tespit etmiştir. Çalışmada, sıcağı su numunelerindeki hidrokarbonların kökeni, olgunluk durumları, çökeltme ortamları vb. gibi özellikleri organik jeokimyasal açıdan yorumlanmıştır. Olgun petrol hidrokarbonlarca zengin suların üretim yapılabilir bir petrol sisteminin kanıtı olduğu belirtilmiştir. Olgun petrol hidrokarbonlarınca zengin su kaynaklarının varlığı nedeniyle, çalışma alanında belirlenmiş olan yapıların (kapanların) yüksek petrol ve doğalgaz potansiyeline sahip olduğu bildirilmiştir.





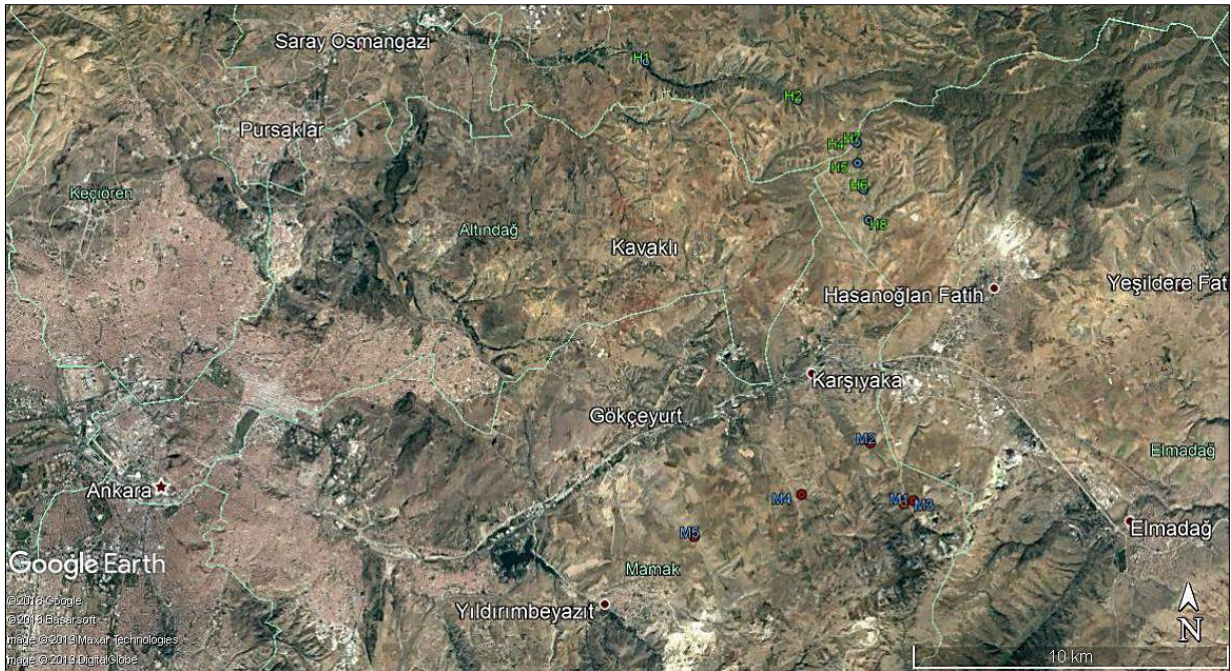
Şekil 3. Birincil yöntemlerle üretim yapılan antiklinal bir petrol rezervuarının bileşenleri (Özdemir, 2018'den).

Çalışma, üç aşamada yürütülmüştür. Birinci aşamada, literatürden çalışma alanının jeolojik özellikleri incelenmiştir. Böylece, jeokimyasal analizler ve jeofizik değerlendirmeler için gerekli olan jeolojik veriler derlenmiştir. İkinci aşamada, çalışma alanının manyetik ve gravite haritaları hazırlanmıştır. Jeolojik ve jeofizik verilerin birlikte değerlendirilmesi sonucunda, çalışma alanında petrol kapalı olabilecek bir yapı belirlenmiştir. Üçüncü aşamada, belirlenen bu yapı üzerindeki ve çevresindeki çeşmelerinden (hayratlardan) alınan su numunelerinde Toplam Petrol Hidrokarbonları (TPH) analizleri yapılarak belirlenen yapının petrol ve doğal gaz potansiyeli değerlendirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, su numunelerinin tamamında olgun petrol hidrokarbonları tespit edilmiştir. Tespit edilen olgun hidrokarbonlar, çalışma alanında çalışan bir petrol sisteminin varlığı için kanıttır.

## 2. Materyal ve Yöntem

Çalışma alanındaki yeraltısularının hidrokarbon içeriklerini belirlemek amacıyla, bölgedeki çeşmelerinden (hayratlardan) 1 litre ölçekli plastik kaplarla klasik hidrojeokimyasal örnek alım yöntemi ile 5 adet su numunesi alınmıştır (Şekil 4 ve 5). Alınan su numunelerinde, organik jeokimyasal değerlendirmelere veri oluşturmak amacıyla Türkiye Petrolleri (TPAO) Ar-Ge Merkezinde Agilent 7890A gaz kromatografisi cihazı ile TPH (Toplam Petrol Hidrokarbonları) analizleri yapılmıştır. Bu analizler ile su numunelerinin TPH konsantrasyonları (mg/lt cinsinden) belirlenmiş ve jeokimyasal değerlendirmelerde bu konsantrasyonlar kullanılmıştır.

Toplam Petrol Hidrokarbonları (TPH)'nin saptanması, yeraltısularının hidrokarbon kirliliği hakkında bilgi vermektedir. TPH analizi, C10 - C40 karbon aralığında kalan alan yardımıyla TPH değerinin (hidrokarbon miktarının) hesaplanmasıdır. Bu karbon yelpazesi, düşük kaynama noktasına sahip uçucu hidrokarbon bileşiklerinden, yüksek kaynama noktası aralığında bulunan uçucu olmayan bileşiklere kadar uzanmaktadır (Sakroon, 2008). Sudaki TPH konsantrasyonlarını belirlemek için gaz kromatografisi (GC) analizleri yapılmaktadır. Suda TPH tayininde (Suda Petrol), TS EN ISO 9377-2, 2000 sayılı *Hidrokarbonların Tayini - Bölüm 2: Çözücü Ekstraksiyonu ve Gaz Kromatografisi Yöntemi* standart testi kullanılmaktadır (Diğer yöntemler, EPA Metot 1664 ve ASTM D7678-11). Bu analiz yönteminde yerüstü, yeraltı ve dağıtım sularından alınan örneklerdeki hidrokarbonlar ayrılmakta ve su numunesindeki toplam petrol hidrokarbonlarının miktarı tayin edilmektedir.



Şekil 4. Numune alınan su kaynaklarının yerbulduru haritası (M: Bu çalışmanın Mamak su numuneleri, H: Özdemir (2019a) çalışmasındaki Hasanoğlan su numuneleri)



Şekil 5. Çalışma alanındaki su kaynaklarından 1 litre ölçekli plastik kaplarla su numunesi alınması

### 3. Bulgular ve Tartışma

Çalışma alanından alınan su numuneleri üzerinde yapılan TPH analiz sonuçları esas alınarak; sulardaki hidrokarbonların miktarı, bozunma durumu ve kaynağı, olgunluğu ve çökeltme ortamının redoks koşulları jeokimyasal açıdan incelenmiştir. Ayrıca, inceleme alanı için hazırlanan havadan manyetik ve gravite haritaları jeolojik ve tektonik açıdan yorumlanmış ve hidrokarbonların kavramsal oluşum, göç ve birikme modelinin kurgulanması amaçlanmıştır.

#### 3.1. Sulardaki Hidrokarbonların Miktarı ve Kaynağı

Yeraltısuyu, petrol ve doğalgaz rezervuarı oluşumu için belirleyici faktördür. Diyajenetik ortam, hidrokarbonların göçünü ve ayrışmasını kontrol eder (Liu ve diğ., 2018; Li ve diğ., 2014; Feng ve Han, 2002). Su-kayaç-hidrokarbon etkileşimi, petrol ve doğalgaz rezervuarının mekânsal evrimi için anahtar faktördür ve tüm diyajenetik süreçte işlev görür (Liu ve diğ., 2018; Cai ve diğ., 1997). Bu etkileşim; minerallerin tümü, organik madde ve formasyon suyu içeren, hem tepkiyen hem de ürün oluşum süreçlerinin bir arada bulunduğu karmaşık bir fizikokimyasal işlemidir. Bu işlemde, özel sıcaklık ve basınç koşullarında ayrışma ve çökeltme arasında dinamik bir dengeye ulaşılmaktadır. Su-kayaç-hidrokarbon etkileşimi için en belirgin manifesto, yeraltısuları ve formasyonlardaki fizikokimyasal özellik değişimidir. Bu etkileşim, yeraltısularında hidrokarbonlarca zenginleşmeye sebep olur (Liu ve diğ., 2018). Liu ve diğ. (2018), hidrokarbon içeriği 0.05 mg/lt'yi aşan yeraltısuyunu orijinal hidrokarbonca zengin yeraltısuyu olarak tanımlamıştır. Mamak (Ankara) bölgesinden alınan su numunelerinde yapılan TPH analizlerinde, su numunelerinin tamamında n-alkan hidrokarbonlar tespit edilmiştir (Tablo 1). İnceleme alanındaki su numunelerinin TPH değerlerinin, Liu ve diğ. (2018) tarafından önerilen (hidrokarbon içeriği < 0.05 mg/lt) ve Özdemir (2018) tarafından önerilen (TPH < 0.5 mg/lt) yeraltısularında bulunması gereken hidrokarbon sınır değerlerinden oldukça yüksek olduğu görülmektedir (Tablo 1). Dolayısıyla, su-kayaç-hidrokarbon etkileşimi, inceleme alanındaki sulara hidrokarbon zenginleşmesine sebep olmuştur.

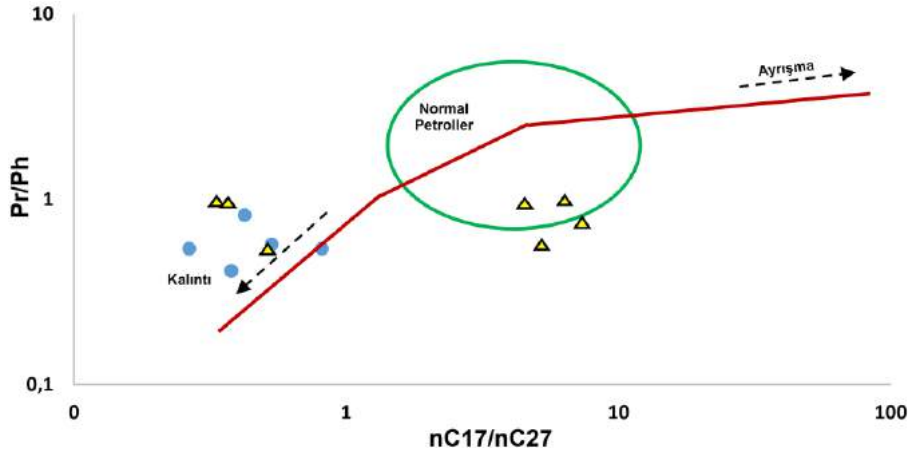
Tablo 1. Su örneklerinin TPH analiz sonuçları ve hesaplanan jeokimyasal parametreler

Numune No	Koordinatlar		TPH (mg/lt)	CPI	NAR	Pr/Ph	Pr/n-C17	Ph/n-C18
	X	Y						
M1	4419750	512105	7.51	1.12	0.03	0.57	0.25	0.58
M2	4421691	511081	8.47	1.78	0.17	0.54	0.60	0.71
M3	4419843	512413	12.80	1.28	0.13	0.41	0.36	0.40
M4	4420054	508805	13.71	1.09	0.28	0.54	0.57	0.38
M5	4418725	505317	9.20	0.97	0.02	0.82	0.51	0.09

Gaz kromatogramlarından elde edilen jeokimyasal parametrelerin değerlendirildiği grafiğe bakıldığında (Şekil 6), Hasanoğlan su numunelerindeki hidrokarbonların bir kısmının normal petrol sınıfına girdiği, Hasanoğlan su numunelerinin bir kısmı ve Mamak su numunelerinin tamamının normal petrolerin biyodegragasyona uğraması sonucunda kalıntı ürününe dönüşme eğiliminde olduğu görülmektedir. Kaynak, olgunlaşma, göç ve biyolojik bozunma, hidrokarbonların bileşimindeki farklılıklardan sorumlu ana faktörlerdir. Ph/n-C18 değeri < 1 ise, biyolojik olarak bozunmamış hidrokarbonları göstermektedir (Hunt, 1995). Su numunelerinin tümünün Ph/n-C18 değeri, < 1'dir (Tablo 1). Bu değerlere göre, su numunelerindeki hidrokarbonlar biyolojik olarak bozunmamıştır.

Hidrokarbon bileşiklerinin genel dağılımlarını görmek, organik madde tipi, olgunlaşma ve çökeltme ortamları hakkında bilgi sağlamak amacıyla gaz kromatografi analiz sonuçları kullanılarak Pristan (Pr) / Fitan (Ph) oranı, izoprenoid/n-alkan oranı ve Karbon Tercih İndeksi (CPI) hesaplanarak yorumlamaya gidilmektedir. Bu çalışmada, n-alkan dağılımlarından yararlanılarak su numuneleri Pr/Ph oranı (Didyk ve diğ., 1978; Tissot ve Welte, 1984; Banga ve diğ., 2011), CPI indeksi (Bray ve Evans, 1961;1965), Pr/Ph - CPI (Hakimi ve diğ., 2017; Onojake ve diğ., 2013), Pr/nC17 - Ph/nC18 (Peters ve diğ., 1999; Sarı ve diğ., 2003; Mathur ve diğ., 1988) ve Pr+Ph/nC17 + nC18 (Frimmel ve diğ., 2004) diyagramlarında jeokimyasal açıdan yorumlanmıştır.





Şekil 6. Pr/Ph - nC17/nC27 grafiği (Çorbacıoğlu ve diğ., 2018). Mavi renkli daireler: Mamak (Ankara) su numuneleri, sarı renkli üçgenler: Hasanoğlan (Ankara) su numuneleri (Şekil 2; Özdemir, 2019a)

CPI, n-alkan kaynağının bir göstergesidir. Tek ve çift karbon numaralı n-alkan miktarları arasındaki bir oran olan CPI, gaz kromatogramlarındaki piklerin yükseklikleri veya alanları ölçülerek belirlenmektedir (Bu çalışmada, pik alanları kullanılmıştır). Bu kromatogramlarda hâkim pikler, n-alkanlardır. CPI indeksinin hesaplanmasında, farklı araştırmacılar farklı formüller önermişlerdir. Bu indeks, karbon dizisinin herhangi bir aralığına uygulanabilmektedir. CPI indeksinin hesaplanması:  $CPI = \frac{1}{2} \times \frac{C_{17} + C_{19} + C_{21} + C_{23}}{C_{16} + C_{18} + C_{20} + C_{22}} + \frac{1}{2} \times \frac{C_{17} + C_{19} + C_{21} + C_{23}}{C_{18} + C_{20} + C_{22} + C_{24}}$  (Bray ve Evans, 1961; 1965).

CPI, tek ve çift numaralı n-alkanların birbirlerine göre bolluğu, organik madde tipi, çökelme ortamı ve ısıl olgunluğu yorumlamada kullanılmaktadır. CPI değerinin belirgin bir şekilde 1'den büyük (tek n-alkan tercihli) veya 1'den küçük (çift n-alkan tercihli) olması ısıl ortamlarla ilişkili petrol ve bitümlerde gözlenmektedir (Tissot ve Welte, 1984; Peters ve Moldowan, 1993). Yüksek CPI değeri, yüksek karasal bitkilerden türemiş, olgunlaşmamış veya olgunluğu düşük organik maddeyi yansıtmaktadır (Tran ve Philippe, 1993). CPI değerlerine göre (Tablo 1), incelenen su numunelerindeki n-alkanların kaynağı petrojenik hidrokarbonlar ve organik maddece zengin yaşlı sedimanlardır (Tablo 2)

Tablo 2. CPI değerine göre sudaki n-alkanların kaynağı (Özdemir, 2018)

CPI	Kaynak
> 2.3	Güncel karasal sedimanlar (biyojenik hidrokarbonlar)
1.2 - 2.3	Organik maddece zengin yaşlı sedimanlar (denizel şeyller, karbonatlar vb.)
≤ 1.2	Petrojenik hidrokarbonlar (< 1 değerler bozunmuş petroller)

Petrojenik kaynaklar terimi; ham petrol ve kömür vb. gibi yanmamış fosil kaynakları tanımlamaktadır. Bu kaynaklar, milyonlarca yıl önce ve orta sıcaklıklarda (100-300 °C arasında) çok yavaş bir şekilde oluşmuştur (Beyer ve diğ., 2010). Ortamdaki hidrokarbonların kaynağını (doğal veya petrol n-alkan) değerlendirmek için NAR (Doğal N-alkan Oranı) olarak tanımlanan bir parametre önerilmiştir (Mille ve diğ., 2007). Bu oran, petrol hidrokarbonları ve ham petroller için sıfır veya sıfıra çok yakındır. Diğer kaynaklar için ise, daha yüksek olarak belirtilmiştir. NAR parametresine göre (Tablo 1), incelenen su numunelerindeki n-alkanların tamamı, doğal petrol (petrojenik) hidrokarbonlarıdır. NAR parametresi aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$NAR = \frac{\sum n\text{-alk}(C_{19-32}) - 2 \sum \text{çift } n\text{-alk}(C_{20-32})}{\sum n\text{-alk}(C_{19-32})}$$

### 3.2. Sulardaki Hidrokarbonların Olgunluğu ve Çökelme Ortamının Redoks Koşulları

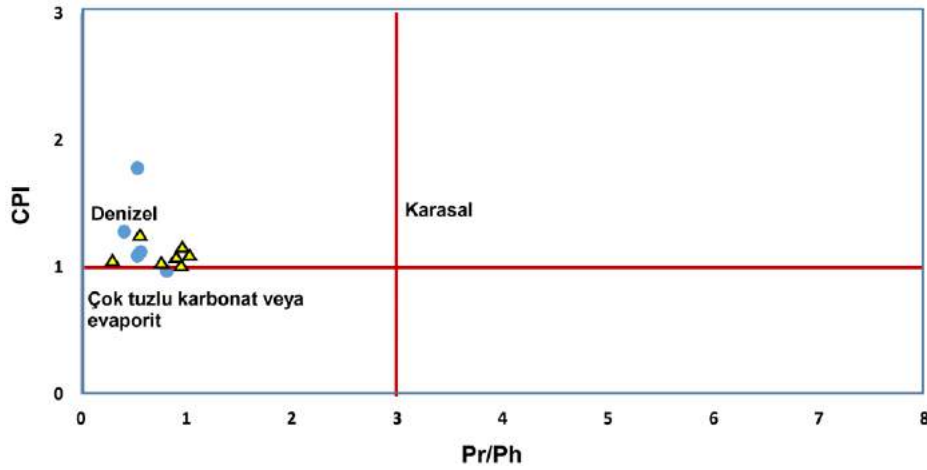
Olgun hidrokarbonların CPI değeri, 1'dir veya 1'e çok yakındır (Waples, 1985). Çok tuzlu karbonat veya evaporitik ortamlarla ilişkili petrol ve bitümlerin CPI değerleri, 1'den küçüktür (Tissot ve Welte, 1984; Peters ve Moldowan, 1993). Onojake ve diğ. (2013) çalışmalarında, CPI değerlerini esas alarak hidrokarbonları olgunluklarına göre sınıflandırmışlardır (Tablo 3). Bu sınıflamaya göre, incelenen su numunelerindeki (Tablo 2) hidrokarbonların tamamına yakını olgundur.

Tablo 3. CPI değerine göre hidrokarbonların olgunluk derecesi (Onojake ve diğ., 2013'den düzenlenmiştir) (bkz. Şekil 7)

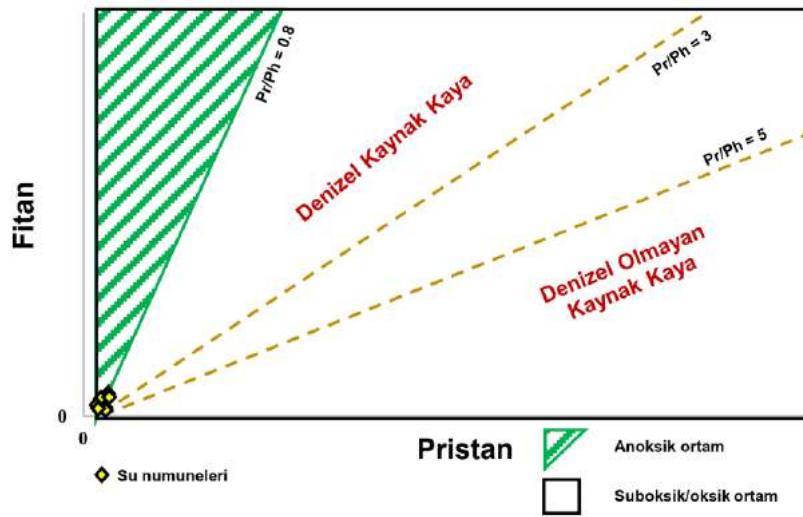
CPI	Olgunluk
1 - 1.4	Olgun (okside-redükte)
0.8 - 1	Olgun
< 0.8	Olgunlaşmamış



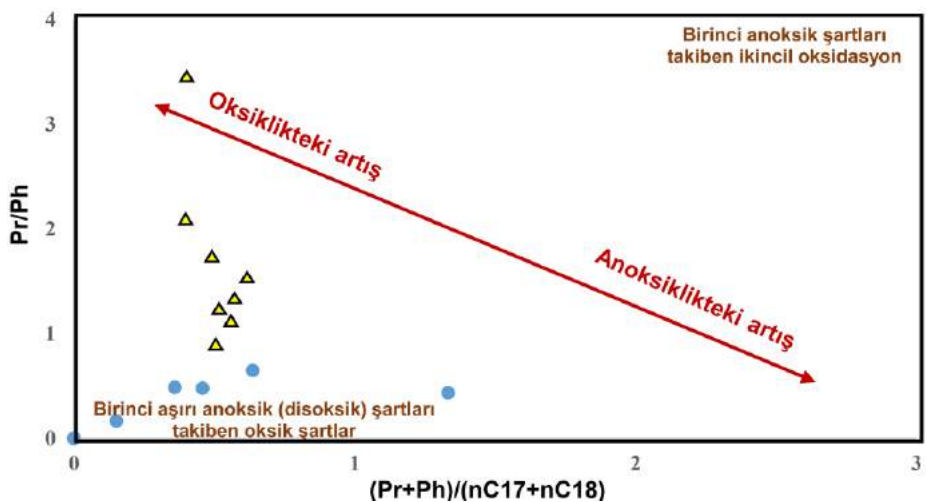




Şekil 9. Su numunelerinin Pr/Ph - CPI diyagramı (Hakimi ve diğ., 2017). Mavi renkli daireler: Mamak (Ankara) numuneleri, sarı renkli üçgenler: Hasanoğlan (Ankara) numuneleri (bkz. Şekil 2; Özdemir, 2019a)



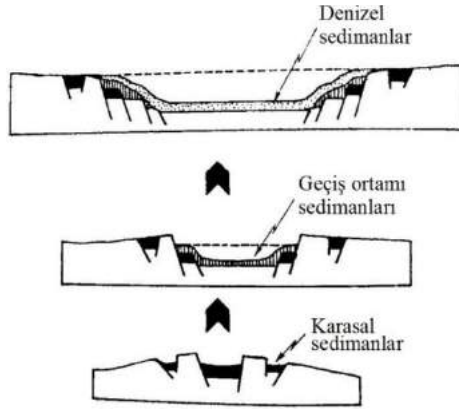
Şekil 10. Mamak ve Hasanoğlan su numunelerinin Fitan (Ph)/Pristan (Pr) diyagramı (Banga ve diğ., 2011)



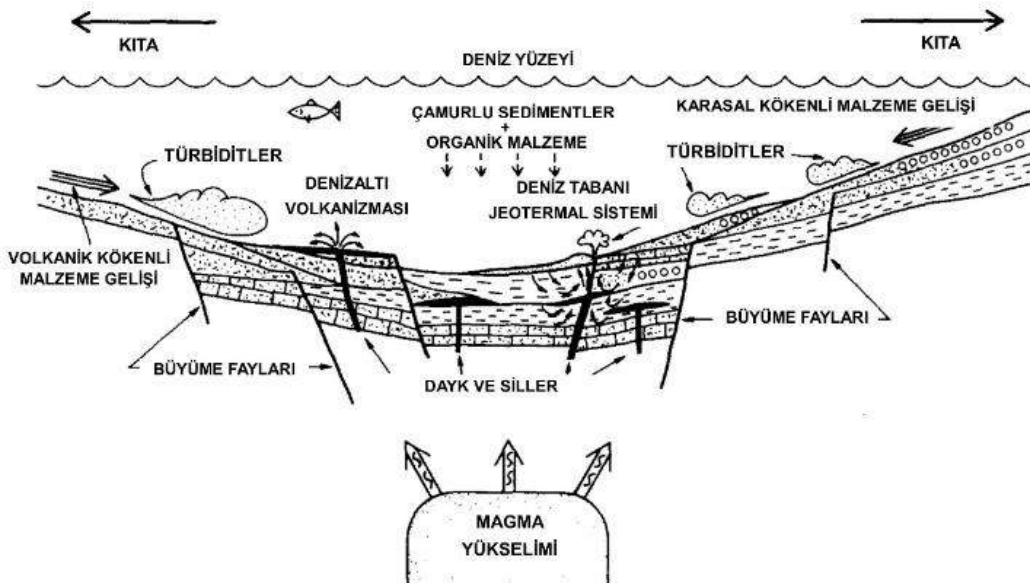
Şekil 11. Su numunelerinin  $(Pr+Ph)/(nC17 + nC18)$  diyagramı (Frimmel ve diğ., 2004). Mavi renkli daireler: Mamak (Ankara) numuneleri, sarı renkli üçgenler: Hasanoğlan (Ankara) numuneleri (bkz. Şekil 2; Özdemir, 2019a)

Her bir Tetis okyanusunun açılması (Prototetis, Paleotetis, Neotetis), kıta içi riftleri meydana getiren gerilme tektoniği eşliğinde olmuştur. Bu rift havzaları, bölgedeki petrol oluşumu için uygun alanlar olarak kabul edilmektedir. Bu tektonik-sedimentasyon sistemi, Tetis bölgesine özgü biçimleri ile petrol oluşumu ve birikimi üzerinde etkili olmuştur (Ulmishek ve Klemme, 1990; Sorkhabi, 2010). Genellikle, pasif kıta kenarları boyunca görülen riftleşme esnasında meydana gelen sedimenter havzalara rift havzası

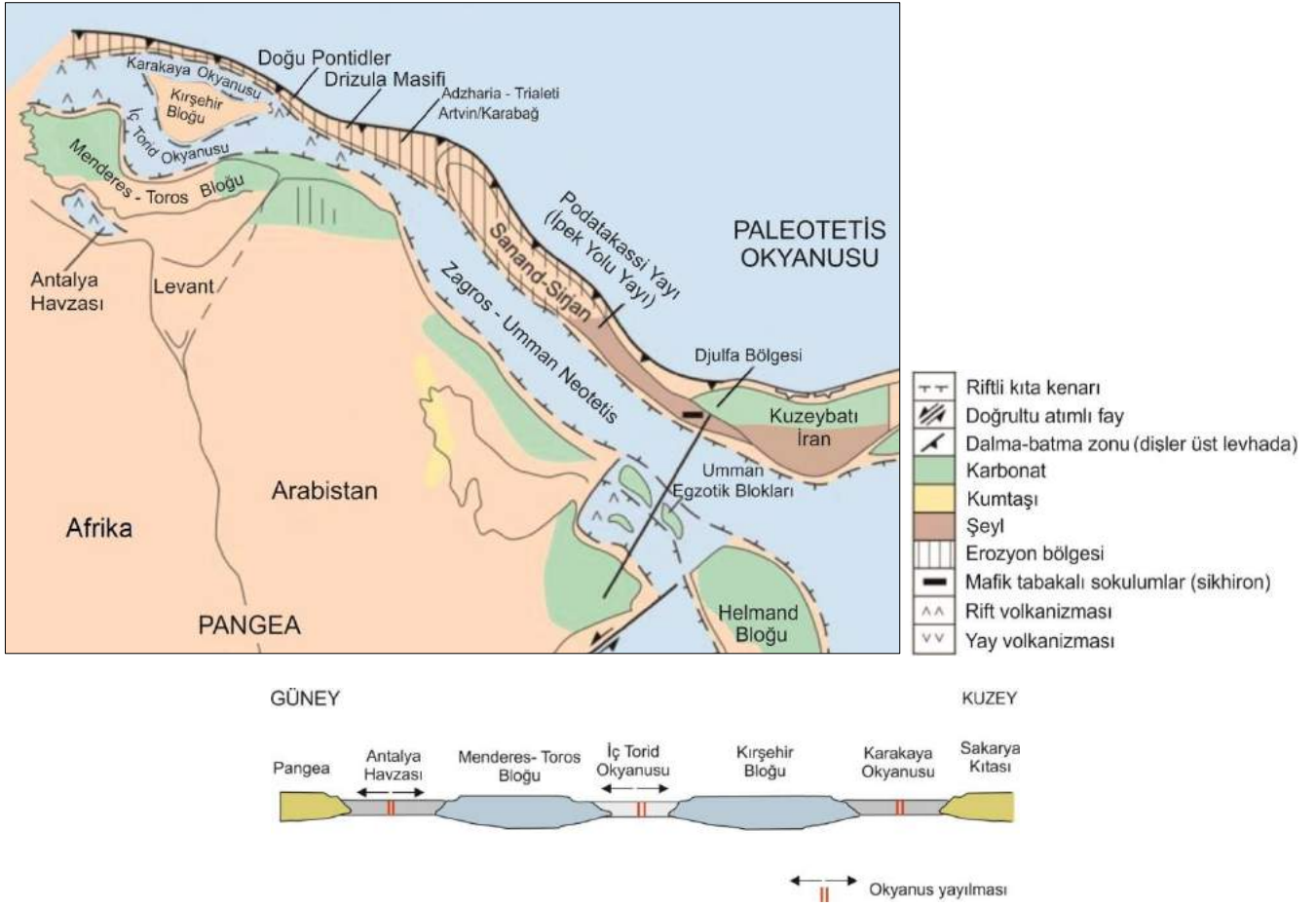
denilmektedir. Bu tür havzalar, organik maddece zengin bol miktarda kırıntılı kaya içerirler. Rift havzaları, oluşumları sırasında yatay çekme ve dikey çökmenin etkisi altındadır. Bir rift sisteminin ve okyanus açılması üç safhada incelenebilir (Şekil 12); 1. Rift öncesi, 2. Riftleşme, 3 Açılma safhaları. Birinci safhada (rift öncesi), bölgedeki çekilme (genişleme) giderek artarken bölgede sığ karasal ortamların hakimiyeti görülür. İkinci safhada (riftleşme), çökme hızlı bir şekilde artar ve havzalarda gölsel sedimantasyon başlar. Son safhada ise (açılma safhası), okyanus kabuğu oluşurken bölge deniz suları ile kaplanır. Ancak, su basması rift sisteminin ekseninden başladığı için sistemin kenarındaki havzalarda sadece karasal çökellere rastlanırken, merkeze doğru bunun üzerine geçiş ve denizel ortamlara ait çökellerin geldiği görülmektedir (Şekil 12). Bu ve benzeri jeokimyasal nedenlerle kenardaki havzalarda sadece gaz, merkezi havzalarda ise petrol bulma olasılığı daha yüksektir. Rift havzalarının kaynak kayalarında oluşan petrolün, genellikle yakın mesafeli bir taşınma ile rezervuar kayaya göç etmesi beklenir. Rift havzalarındaki yoğun tektonik faaliyet ve yaygın fasiyes değişimleri nedeniyle, çok sayıda stratigrafik ve yapısal kapanlar vardır. Sadece karasal çökelleri içeren rift sistemlerindeki havzalar, sadece gaz oluşumu için uygundur. Pasif kıta kenarları boyunca oluşan okyanus şelfinde ve daha genç sedimanlarla örtülmüş rift havzaları petrol aramalarına uygundur. Rift havzası çökelleri, organik karbon içeriği açısından önemlidir. Triyas yaşlı rift havzaları, yer kabuğundaki toplam organik karbonun %14'ünü içermektedir (Ediger, 1987). Türkiye kuzeyinde geniş dağılımı sahip olan Karakaya karmaşığının tektonik gelişimini açıklayan rift modelinde (Okay ve Göncüoğlu, 2004), Karakaya karmaşığı kayalarının Üst Permiyen yaşlı bir riftte oluştuğu ve bu riftin daha sonra okyanusal bir kenar denizine dönüştüğü ve Üst Triyas'ta kapandığı belirtilmiştir. Orta-Geç Triyas'ta Karakaya okyanus tabanında gerilmeli bir rejimin (okyanus ortası sırt) kurulduğu ve sistemin muhtemel olarak alt mantodan kaynaklanan tüketilmemiş karakterde magmalardan katkı aldığı yani bir manto sorgucunun varlığını gösterdiği belirtilmiştir (Sayit ve diğ., 2010). Karakaya karmaşığında petrol kaynak kayası oluşumu için Şekil 13'deki model önerilmiştir (Özdemir, 2019a). Triyas, Neotetis'in açılmasını, pasif kıta kenarı çöküşünü ve Kuzey Arabistan'da yay gerisi riftleşmesi ve sonunda da Akdeniz'deki riftleşmenin başlangıcı olarak tanımlanmaktadır. Bu süreçler, Kimmeriyen orojenezi ve Paleotetis okyanus güneyinde Neotetis okyanusunun açılmasına sebep olmuştur (Şekil 14). Permiyen-Triyas sınırı, levha ölçeğinde bir uyumsuzluk oluşturur. Triyas, daha az miktarda geçiş ortamı denizel şeyllerle, baskın olarak dolomitik ve evaporitlerle aralanmalı sığ denizel karbonatlar ve fluviyal-deltaik sığ denizel silisiklastiklerden ve yerel olarak volkaniklerden oluşmaktadır. Triyas yaşlı kaynak kayalar, ağırlıklı olarak geçiş ortamı denizel karbonatları / dolomitleri ve evaporitlerdir (Kendal ve diğ., 2014).



Şekil 12. Pasif kıta kenarı kenarları boyunca oluşan rift havzalarında karasal, geçiş ortamı ve denizel sedimanların birikimi (Ediger, 1987)



Şekil 13. Bir rift sisteminde petrol kaynak kayası oluşumunun kavramsal modeli (Özdemir, 2019a)



Şekil 14. Türkiye'nin Alt Triyas paleocoğrafyası (Ruban ve diğ., 2007'den değiştirilerek)

Organik jeokimyasal analizler, hem optik hem de kimyasal yöntemleri içerir (Tissot ve Welte, 1984). Bir analitik yöntem, kesin sonuç elde etmek için yeterli olmayabilir. Genellikle, en güvenilir 2 veya 3 yöntem birlikte kullanılır. Bu yöntemlerden elde edilen veriler [1: organik maddenin petrol veya gaz zenginliğinin miktarı, 2: organik maddenin petrol veya gaz eğilimi ve 3: olgunluk seviyesi (düşük olgun, olgunlaşmış veya yüksek olgun-metamorfize)], birbirleri ile ilişkilendirilir (Hunt, 1995). Termal olgunlaşma belirteçlerinin ilişkilendirilmesi Şekil 15'de, incelenen su numunelerindeki hidrokarbonları türeten organik madde (kerojen) tipi, hidrokarbonların termal olgunluk durumları ve hidrokarbon türü de Tablo 4'de verilmiştir. Bu değerlendirmeye göre, incelenen su numunelerindeki hidrokarbonların bir kısmı düşük olgun ve çoğunluğu olgun olup, diyajenetik olarak kısmen diyajenez (erken kuru gaz), baskın olarak katajenez ve metajenez aşamasındaki kuru, kondenseyit ve ıslak gaz, hafif ve ağır ve petroldür (Tablo 4).

### 3.3. İnceleme Alanının Havadan Manyetik ve Gravite Haritalarının Jeolojik Yorumu ve Yapı Derinliği

İnceleme alanında olduğu gibi, jeokimyasal araştırmalarla petrol hidrokarbonları varlığı kanıtlanmış (olgun hidrokarbonlarca zengin sular belirlenmiş) olan bölgelerdeki petrol ve/veya doğalgaz rezervuarının (kapanının) yerinin belirlenmesi için özellikle sismik ölçümler çok önemlidir. Ancak, çalışma alanında değerlendirmeye esas olabilecek sismik ölçüm hatları bulunmamaktadır. Bu nedenle, çalışma alanının yeraltı jeolojisi MTA Genel Müdürlüğü tarafından üretilmiş olan gravite ve manyetik verilerden hazırlanan haritalar kullanılarak değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

Gravite ve manyetik verilerinin petrol ve doğalgaz aramalarında kullanımına yönelik yöntemleri ve saha uygulamalarını içeren çok sayıda çalışma mevcuttur (bazı çalışmalar; Özdemir, 2019a,b; Özdemir ve Şahinoğlu, 2018; Gadirov ve diğ., 2018; Stephen ve Iduma, 2018; Satyana, 2015; Ivakhnenko ve diğ., 2015; Gadirov ve Eppelbaum, 2012; Aydın, 1997, 2004; Paşteka, 2000; Piskarev ve Tchernyshev, 1997; Gadirov, 1994; Lyatsky ve diğ., 1992; Geist ve diğ., 1987; Nettleton, 1976; Griffin, 1949). Gravite ve manyetik anomali analizi, Batı Sibirya'da hidrokarbon arama ve keşfinin yarım yüzyıldan bugüne kalıcı bir bileşeni olmuştur. Kuzey Batı Sibirya'nın petrol ve doğalgaz yatakları çoğunlukla, derin riftojenik yapılardan kaynaklanan pozitif bölgesel gravite ve manyetik anomalilerin yamaçlarında yer almaktadır. Bilinen tüm petrol ve doğalgaz yatakları, nispeten yüksek gravite anomalileri ile karakterize olan bölgelerdedir. Hem gravite hem de manyetik anomalinin pozitif (yüksek gravite ve manyetik) olduğu bir alan riftojenik bir yapıya işaret eder. Bu pozitif anomalinin, bazik-ultrabazik kayalarından kaynaklandığı kabul edilmektedir. Petrol ve doğalgaz sahaları, bu pozitif anomalinin kenarında veya yakın çevresinde bulunurlar. Aynı zamanda, temel kayaların yoğunluğu ve manyetizmasındaki düşüşler nedeniyle oluşan gravite ve manyetik değerlerin birlikte düşük olduğu alanlarda da petrol ve doğalgaz yataklarına rastlanılmıştır. İkincil alterasyon etkisine maruz kalmış temel kayaların gravite ve manyetik değerlerinin normal değerlerinden daha düşük olduğu da sıkça karşılaşılan bir durumdur. Yoğunluğu ve manyetik özellikleri düşük temel üzerindeki petrol

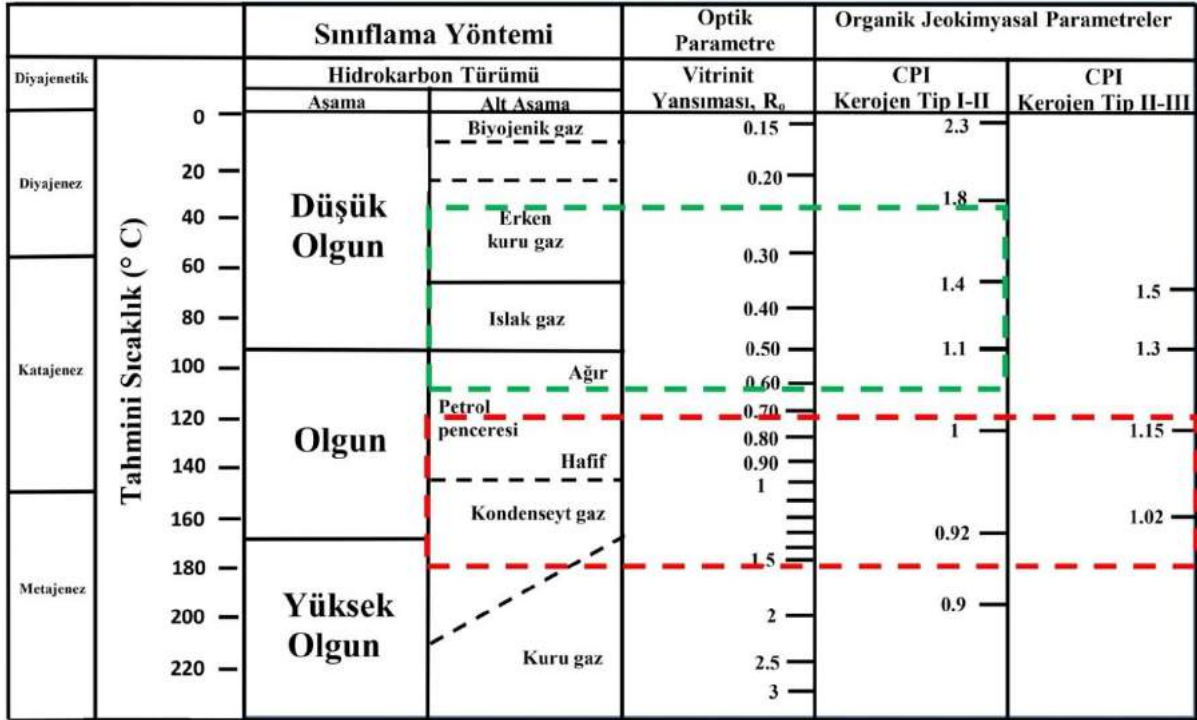


ve doğalgaz sahaları, başlıca negatif gravite ve manyetik anomali konturları içerisinde, yani düşük graviteli ve manyetik alanlarda bulunurlar. Bu durumda oluşan negatif anomaliler, epijenetik süreçlerin petrol ve doğalgaz yataklarının oluşumunda önemli bir rol oynadığı görüşü ile de uyumludur (Piskarev ve Tchernyshev, 1997).

Hazırlanan havadan manyetik haritada (Şekil 16), mavi, yeşil ve açık yeşil renkli alanlarda manyetik özelliği olmayan tamamen sedimanter (kumtaşı, kireçtaşı, siltaşı, çamurtaşı, kiltası, çakiltası, şeyl vb.) ve metamorfik (kristalize kireçtaşı, mermer, kuvarsit, şist vb.) kayalar bulunmaktadır. Sarı, kırmızı ve beyaz renkli alanlarda ise, manyetik özelliği olan kayalar yer almaktadır (volkanik çakilli kumtaşları, ofiyolitler, dayklar vb.) (Şekil 16).

Hazırlanan gravite haritasında (Şekil 17), düşük yoğunluklu sedimanter kökenli kayalardan oluşan genç çökeller (siltaşı, çamurtaşı, kiltası, çakiltası, şeyl vb.) ve metamorfik (sleyt, fillit vb.) koyu mavi, açık mavi ve yeşil renk tonları ile yoğunluğu nispeten daha büyük olan kayalar ise turuncu, kırmızı ve sarı renk tonları ile temsil edilen yoğunluğu nispeten yüksek kayalardan (kristalize kireçtaşı, mermer, kuvarsit, şist vb.) kaynaklanan bir anomali yer almıştır (Şekil 17).

Olgun hidrokarbonlarca zengin su numuneleri, çalışma alanında çalışan bir petrol sistemi için önemli bir kanıttır. Birbirleriyle oldukça uyumlu olan gravite ve manyetik haritaları ile belirlenen, baskın olarak GB-KD doğrultulu genişliği yaklaşık 20 km, eni 10 km olan hidrokarbonların kapanlanabileceği ve korunabileceği bindirme antiklinali, bölgedeki olası petrol ve/veya doğalgaz rezervuarıdır (Şekil 18). Yapının iki bindirme zonunu arasında olması, hidrokarbonların bu yapıda birikmiş olma ihtimalini kuvvetlendirmektedir.

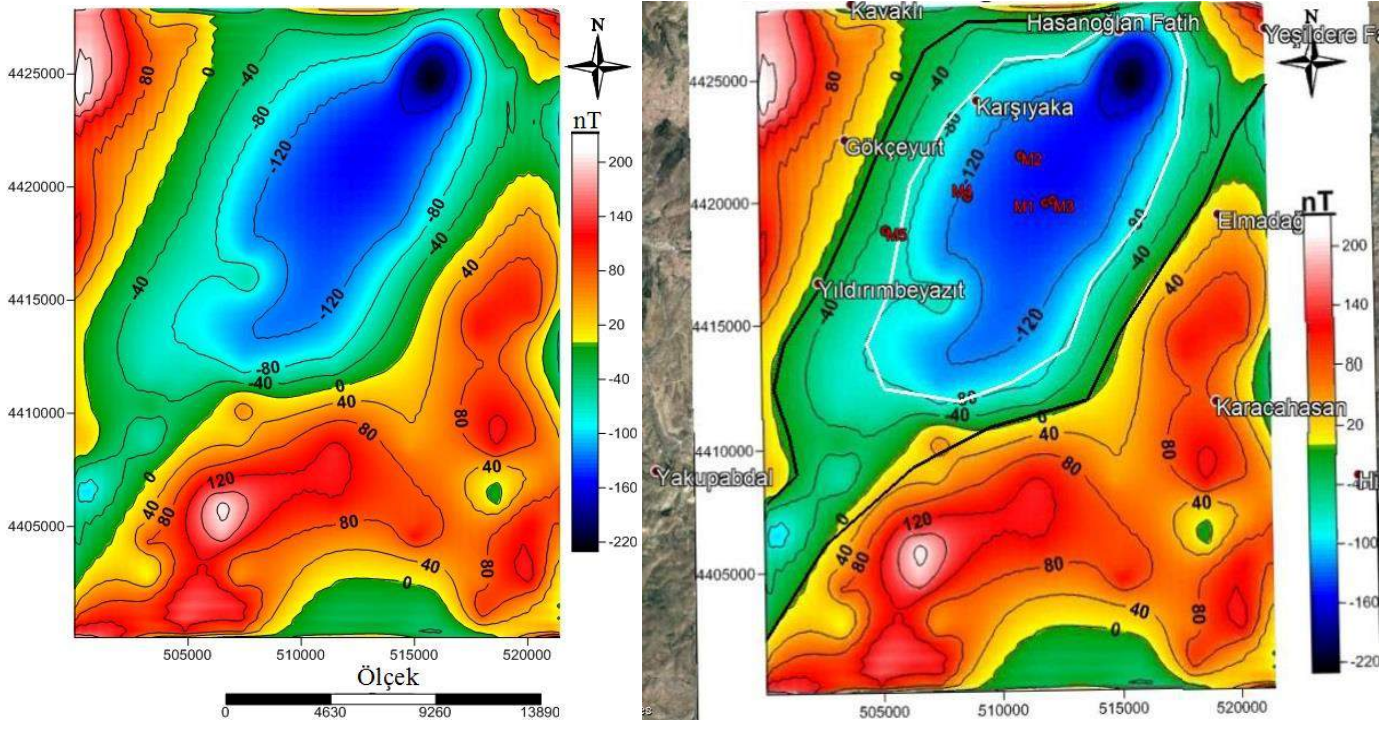


Şekil 15. Termal olgunlaşma belirteçlerinin, vitrinit yansıma ( $R_0$ ) ve Karbon Tercih İndeksi (CPI) değerlerinin ilişkilendirilmesi (Thompson, 1982; Heroux ve diğ., 1979'den). Yeşil renkli çizgili alan: su numunelerindeki Tip II kerojenden türeyen hidrokarbonlar; kırmızı renkli çizgili alan: su numunelerindeki Tip II-III kerojenden türeyen hidrokarbonlar (bkz. Tablo 4)

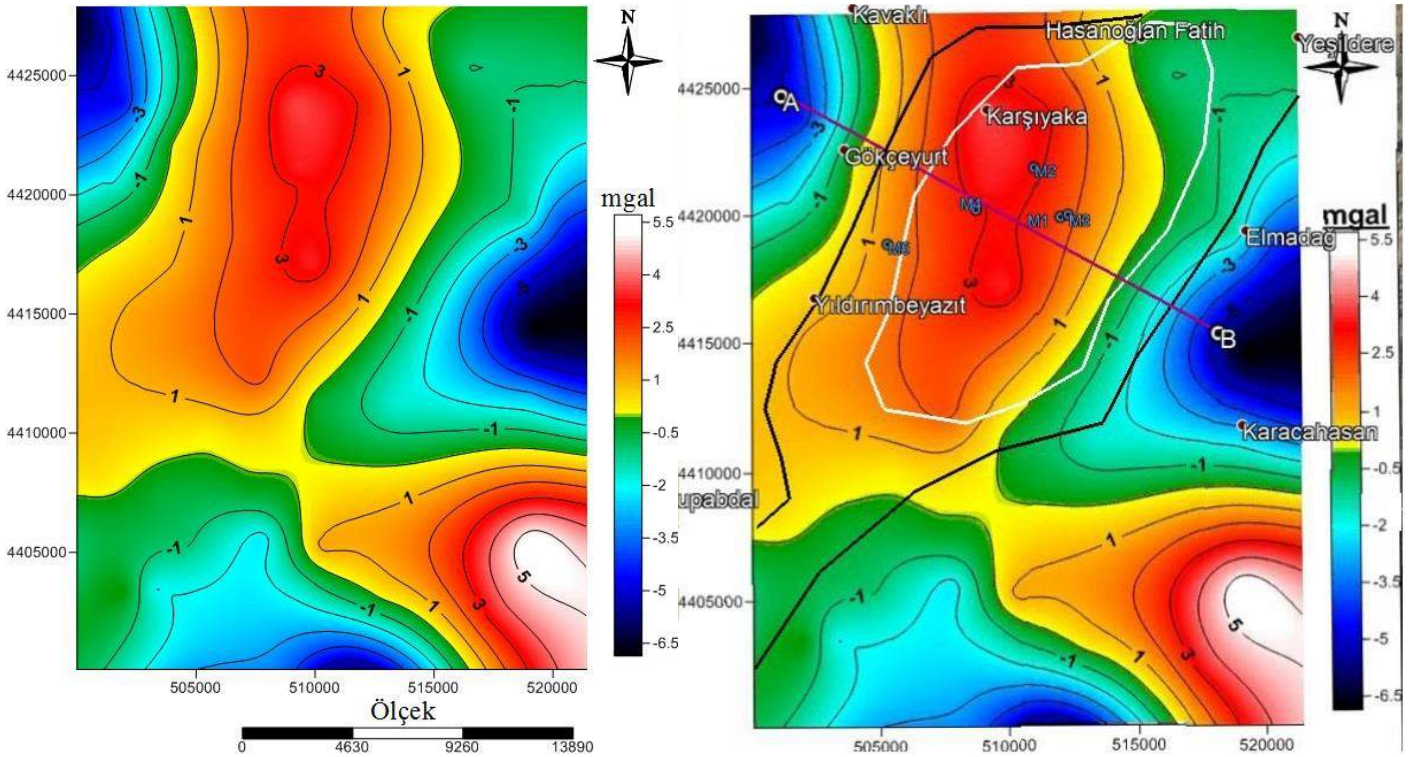
Tablo 4. İncelenen su numunelerindeki hidrokarbonları türeten kerojen tipi, hidrokarbonların termal olgunluk durumları, hidrokarbonların tipi ve diyajenetik aşaması (bkz. Şekil 15)

Lokasyon	Numune No	CPI	Kerojen Tipi	Olgunluk Durumu	Hidrokarbon Tipi	Diyajenetik aşama
Mamak	M1	1.12	II	Olgun	Ağır petrol	Katajenez
	M2	1.78	II	Düşük olgun	Erken kuru gaz	Diyajenez
	M3	1.28	II	Düşük olgun	Islak gaz	Katajenez
	M4	1.09	II-III	Olgun	Hafif petrol	Katajenez
	M5	0.97	II-III	Olgun	Kondenseyt gaz - kuru gaz	Metajenez
Hasanoğlan	H1	1.25	II	Düşük olgun	Islak gaz	Katajenez
	H2	1.01	II-III	Olgun	Kondenseyt gaz - kuru gaz	Metajenez
	H4	1.08	II-III	Olgun	Hafif petrol	Katajenez
	H5	1.06	II	Olgun	Ağır petrol	Katajenez
	H6	1.17	II-III	Olgun	Hafif petrol	Katajenez
	H7	1.05	II-III	Olgun	Hafif petrol - kondenseyt gaz	Metajenez
	H8	1.07	II-III	Olgun	Hafif petrol	Katajenez





Şekil 16. İnceleme alanının havadan manyetik anomalileri renk kontur haritası. Petrol hidrokarbonları içeren su numuneleri: kırmızı renkli rakamalı daireler, muhtemel petrol kapağı: beyaz renkle işaretlenmiş poligon, siyah renkli çizgiler: ana faylar



Şekil 17. İnceleme alanının gravite anomalileri renk kontur haritası. Petrol hidrokarbonları içeren su numuneleri: mavi renkli rakamalı daireler, muhtemel petrol kapağı: beyaz renkle işaretlenmiş poligon, siyah renkli çizgiler: ana faylar, A-B hattı: yapı derinliğini belirlemek için alınan profil

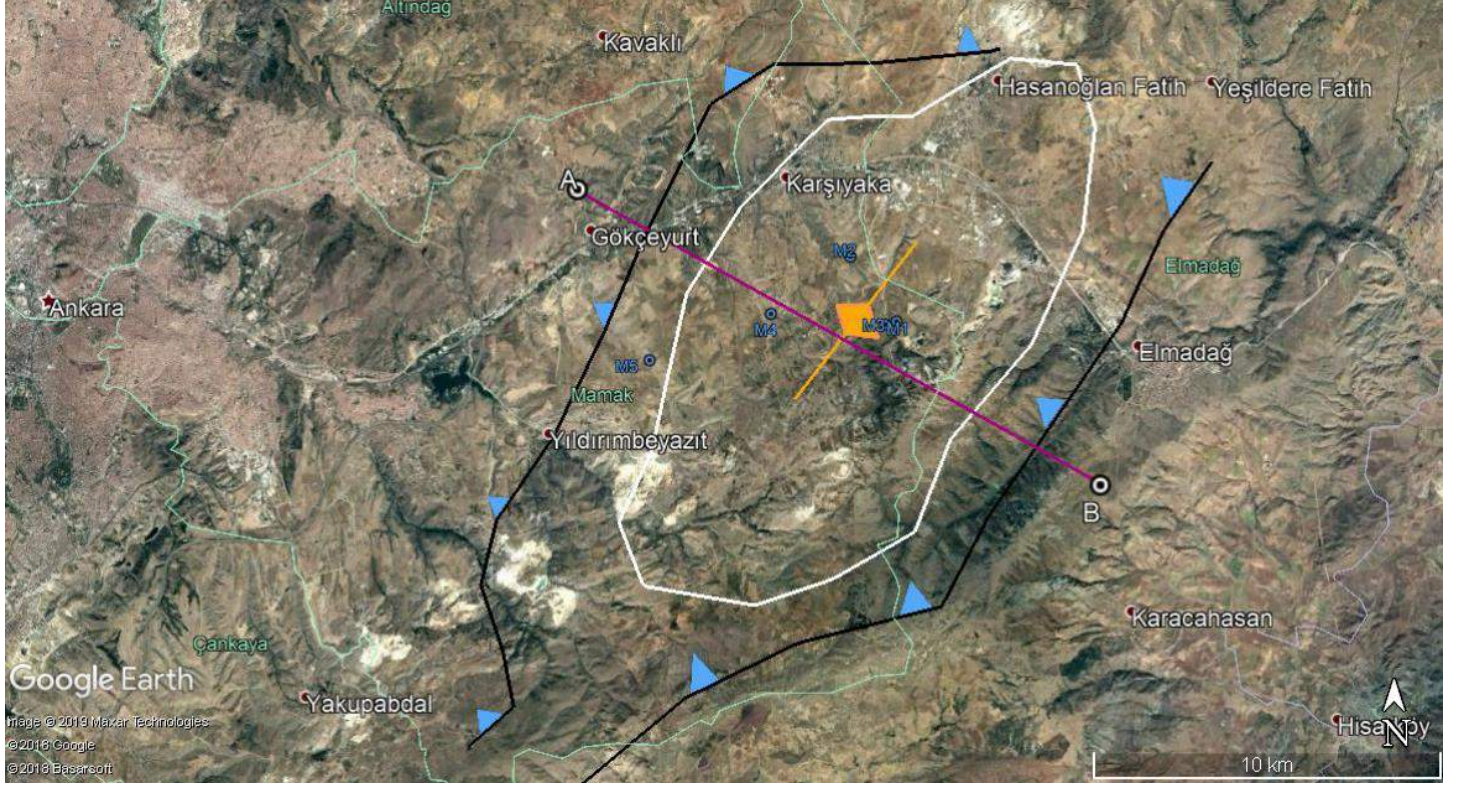
Çalışmada, iki boyutlu rezidüel gravite anomalilerini derinlik değerlerine dönüştürülebilme ve havza ve yapı derinliklerini belirlemek amacıyla, Svancara (1983) ve Töpfer (1977) tarafından önerilen yorum yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, yoğunluk kontrastının bilinmesi durumunda gravite anomalisi ve parametreler arasında kurulan basit ilişkilerle sedimanter bir havza ve yapı derinliği belirlenebilmektedir. Yorumlamanın ilk adımı, anomalinin karakteristik parametrelerini belirlemektir (Şekil 19).  $A = g_{\max}/W_a \times \sigma$  şeklinde tanımlanır.  $g_{\max}$  : gravite anomalisinin maksimum genliğidir.  $W_a$  : gravite anomalisinin yarı genlik ( $g_{\max}/2$ ) değerine karşılık gelen uzaklıktır.  $\sigma$  : yoğunluk kontrastıdır.  $W_b$  : gravite anomalisinin tam genişliğidir ve  $W_b/W_a = (-0.056 \times A) +$



1.827 formülü ile belirlenir.  $D_i$ ,  $g_i$  : gravite anomali değerine karşılık gelen derinliktir.  $D_o$  : düz-plaka formülünden elde edilen derinliktir.  $D_o = 23.866 \times g_{mak}/\sigma$  formülü ile belirlenir ve birimi m'dir.  $D$  : maksimum derinliktir ve aşağıdaki formül ile belirlenir.

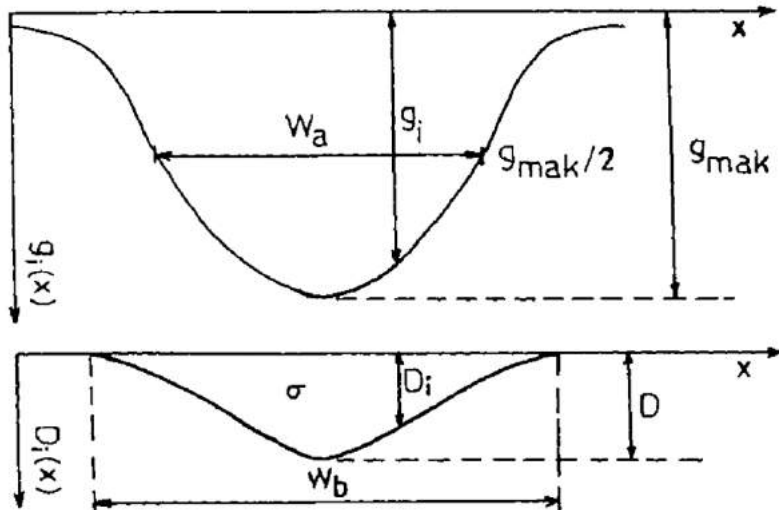
$0 < A < 9$  şartı için  $D/D_o = 0.072 \times A + 1.00$

$9 < A < 13$  şartı için  $D/D_o = 0.12 \times A + 0.57$  şeklindedir (Töpfer, 1977). Çalışma alanının rezidüel gravite anomali haritasından bir A-B profili alınmıştır (Şekil 17). A-B profile ait anomalilere göre yapının maksimum derinliği ( $D$ ) = 545.03 m olarak belirlenmiştir (Şekil 20).

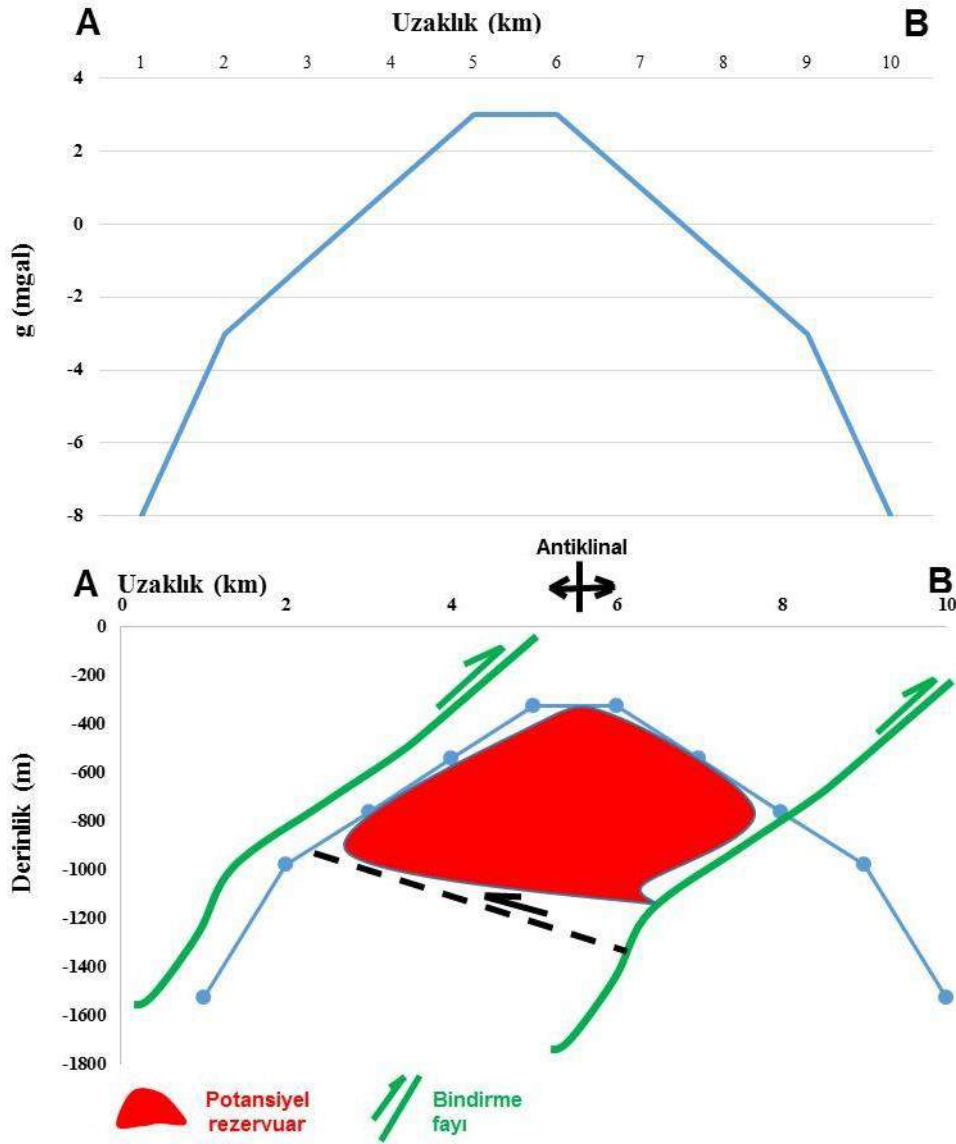


Şekil 18. İnceleme alanındaki potansiyel petrol ve/veya doğalgaz kapanı (beyaz renkli poligon). Olgun petrol hidrokarbonları içeren su numuneleri (mavi renkli rakamlı daireler), turnaklı siyah renkli çizgiler: bindirme fayları (turnaklar, bindiren birim üzerinde). A-B hattı: yapı derinliğini belirlemek için alınan profil (Şekil 20)

Olgun petrol hidrokarbonlarının zengin yüzey ve yeraltı suları, hidrokarbon türeten etkin petrol kaynak kayaları ve yeraltındaki bir petrol ve/veya doğalgaz rezervuarı ile ilişkilidir. Derindeki kaynak kayalardan ve/veya rezervuardan yüzeye göç eden hidrokarbonca zengin sular, yüzeyde ve yüzeye yakın jeolojik ortamlarda (yüzey ve yeraltısularında) tanımlanabilir hidrokarbon konsantrasyonu değişikliklerine sebep olur (Özdemir, 2018). İncelenen su numunelerindeki hidrokarbonlar, derinlerdeki hidrokarbonca zengin jeolojik birimlerden su-kayaç-hidrokarbon etkileşimi sonucunda ve/veya gravite ve manyetik haritalarla belirlenen olası rezervuardan (Şekil 20) çıkan suların yüzeye/yüzeye yakın bölümlere göçüdür.



Şekil 19. İdeal bir havza gravite anomalisi ve karakteristik parametreler (Svancara, 1983)



Şekil 20. A-B profilinin jeolojik yorumu ve inceleme alanındaki muhtemel petrol ve/veya doğalgaz kapanının derinliği (bkz. Şekil 17 ve 18)

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Çalışma alanından toplanan su numunelerinde yapılan suda petrol (TPH) analizi sonuçlarında, ham petrol kökenli n-alkan hidrokarbonlar tespit edilmiştir. Olgun hidrokarbonlarca zengin su numuneleri, bölgede çalışan bir petrol sisteminin varlığı için önemli bir kanıttır. Su numunelerindeki hidrokarbonları türeten kaynak kayalar denizel kuvvetli redüksiyon (Tip II kerojen) ve geçiş ortamında (Tip II-III kerojen) çökelmiştir. İncelenen su numunelerindeki hidrokarbonların bir kısmı düşük olgun ve çoğunluğu olgun olup, diyajenetik olarak kısmen diyajenez (erken kuru gaz), baskın olarak katajenez ve metajenez aşamasındaki kuru, kondenseyit ve ıslak gaz, hafif ve ağır petroldür.

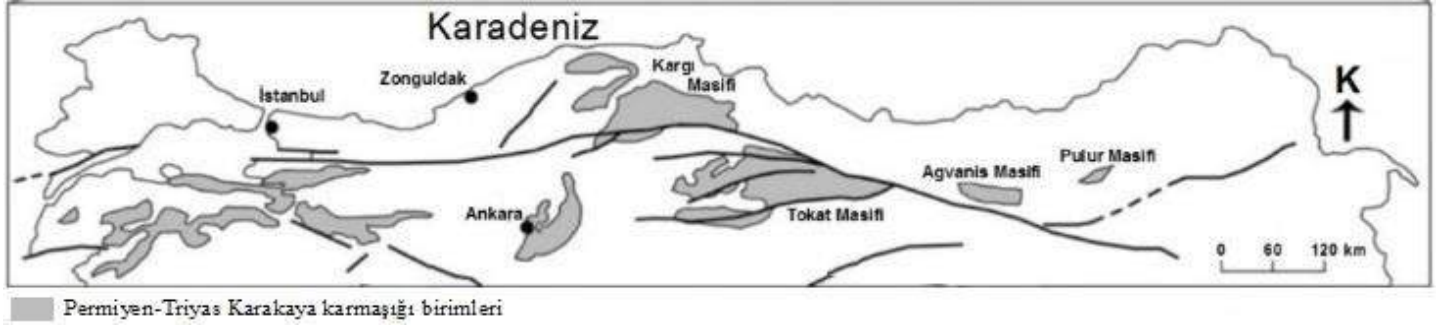
Hidrokarbonlarca zengin olan sular, gravite verilerine göre maksimum 330 m derinliğindeki kıvrımlı bir yapıdan fay ve kırıklar aracılığıyla yeryüzüne göç etmiş ve yüzeye yakın yeraltı suları ile karışmış olmalıdır. Bu kıvrımlı yapı, yaklaşık güneybatı-kuzeydoğu doğrultulu bindirmeler sonucunda oluşmuş bir antiklinaldır. Hidrokarbon içeren su numune lokasyonları, bu antiklinal yakınında ve üzerindedir.

Hazırlanan gravite ve manyetik haritalarla belirlenmiş olan yapının yapısal özelliklerini detaylı olarak belirlemek için, bu yapı üzerinde sismik, elektrik rezistivite, IP yöntemlerinden en az biri ile detay (hatlar-profiller arası sık olan) jeofizik çalışmalar yapılmalıdır. Jeofizik araştırma derinliğinin 1500 m dolayında seçilmesinin uygun olacağı düşünülmektedir. Çalışma alanı ve çevresindeki tüm su kaynaklarından (yüzey suları ve soğuk su kuyularından) numuneler alınarak TPH, ayrılabilirliği mutlaka BTEX (benzen, toluen, etilbenzen ve ksilen izomerleri) ve iyot analizleri yapılmalıdır. Ayrıca, su örneklerinde Re-Os, <sup>129</sup>I, <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C ( $\delta^{13}$ C) izotop analizleri yapılarak bölgede bu çalışma ile varlığı kanıtlanmış olan çalışan petrol sisteminin özellikleri (yaş, kaynak kaya, rezervuar kaya, örtü kaya vb.) tespit edilmelidir.

Hasanoğlan ve Mamak (Ankara) su numunelerindeki hidrokarbonlar, Permian-Triyas yaşlı Karakaya karmaşığı birimlerindeki çalışan petrol sistemleri için kanıttır. Bu hidrokarbonlar, büyük olasılıkla Permian-Triyas sınırındaki toplu canlı yokolması ile ilişkili



olmalıdır. Bu veriler, Çanakkale'den Tunceli'ye kadar Türkiye kuzeyinde geniş bir yayılıma sahip olan Karakaya karmaşığı birimlerinde çalışan petrol sistemleri için önemli bir potansiyel bulunduğunu (Şekil 21), dolayısıyla bu birimlerde bu çalışmada kullanılan jeokimyasal analiz ve yorumlama yöntemleri esas alınarak detaylı jeolojik ve jeofizik arama çalışmalarının yapılmasının gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.



Şekil 21. Karakaya karmaşığının Türkiye kuzeyindeki dağılımı (Sayit, 2010)

## Teşekkür

Yazar, çalışmaya geliştirici yönde görüşsel katkılar sunan Prof.Dr.Ergül YAŞAR'a (İskenderun Teknik Üniv. Petrol ve Doğalgaz Müh. Böl.) ve Doç.Dr.Orhan KAVAK'a (Dicle Üniv. Maden Müh. Böl.), su numuneleri alımı ve analizlerinin gerçekleşmesine olanak sağlayan DSİ Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Dairesi Başkanı Jeo.Yük.Müh. Dr.Ayhan KOÇBAY'a, DSİ Hidrojeolojik Etütler Şube Müdürü Jeo.Yük.Müh. Mert TOKLU'ya, su numune analizlerine ekonomik destek sağlayan Fugro-Sial Yerbilimleri Mühendislik Ltd. Şti.'ne, numunelerin toplanmasında katkısı olan Jeo. Müh. Hüseyin Ertan YÜKSEL'e (Fugro-Sial Yerbilimleri Mühendislik Ltd. Şti.), analizleri titizlikle gerçekleştiren Türkiye Petrolleri (TPAO) Araştırma ve Geliştirme Merkezi uzmanlarına teşekkür etmeyi bir borç bilmektedir.

## Kaynakça

- Aydın, A., 1997. Gravite Verilerinin Normalize Edilmiş Tam Gradyan, Varyasyon ve İstatistik Yöntemleri ile Hidrokarbon Açısından Değerlendirilmesi, Model Çalışmalar ve Hasankale-Horasan (Erzurum) Havzasına Uygulanması. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi, 151 s.
- Aydın, A., 2004. Gravite anomalilerinin doğrudan yorum yöntemleri ile değerlendirilmesi: Hasankale-Horasan bölgesinden bir uygulama. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11(1), 95-102
- Banga, T., Capuano, R.M. and Bissada, K.K., 2011. Petroleum generation in the southeast Texas basin: Implications for hydrocarbon occurrence at the South Liberty salt dome. AAPG Bulletin, 95(7), 1257-1291
- Beyer, J., Jonsson, G., Porte, C., Krahn, M.M. and Ariese, F., 2010. Analytical methods for determining metabolites of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) pollutants in fish bile: a review. Environ. Toxicol Pharmacol, 30(3), 224-244
- Bozkurt, E., 1990. Karakaya napı içinde yeni bir Karbonifer ve Permiyen bulgusu. MTA Dergisi, 110, 181-188
- Bray, E.E. and Evans, E.D., 1961. Distribution of n-paraffins as a clue to recognition of source rocks. Geochim. Cosmochim. Acta, 22, 2-15
- Bray, E.E. and Evans, E.D., 1965. Hydrocarbons in non-reservoir-rock source beds: Part 1. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 49, 248-257
- Cai, C. F., Mei, B. W., Li, W. and Fan, G., 1997. Water-rock interaction in Tarim Basin: Constraints from oilfield water geochemistry. Chinese Journal of Geochemistry, 16, 289-303
- Çelik, M., 1989. Ankara Doğu Kesiminin Mineralojik, Petrografik ve Jeokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 253 s.
- Çorbacıoğlu, H., Kırman, Z.D., Yılmaz, P., Doğan, S., Tokoğlu, E.E., Araç, B., Türresin, F.M., Huvaj, N.Y., Elmacı, A., Türkecan, A.T., Çevik, T., Bahtiyar, İ., Sarıkaya, H., Aydın, M.G., Bakırhan, B. ve Yüksel, M., 2018. Hakkâri-Yüksekova-Hisardağı Bölgesi'nden Alınan Su, Emare ve Kayaç Örneklerinin Değerlendirme Raporu. TPAO Rapor No: 4297
- Didyk, B.M., Simoneit, B.R.T., Brassel, S.C. and Englington, G., 1978. Organic geochemical indicators of paleoenvironmental conditions of sedimentation. Nature, 272, 216-222
- Ediger, V., 1987. Rift havzalarının jeolojik evrimi ve hidrokarbon potansiyeli. Türkiye 7. Petrol Kongresi, 1-10
- Feng, Q.Y., and Han, B.P., 2002. Hydrogeochemical simulation of water-rock interaction under water flood recovery in Renqiu oilfield, Hebei Province, China. Chinese Journal of Geochemistry, 21, 156-162
- Frimmel, A., Oschmann, W. and Schwark, L. 2004. Chemostratigraphy of the Posidonia Black Shale, SW Germany: I. Influence of sea-level variation on organic facies evolution. Chemical Geology, 206, 199-230
- Gadirov, V.G., Eppelbaum, L.V., Kuderavets, R.S., Menshov, O.I. and Gadirov, K.V., 2018. Indicative features of local magnetic anomalies from hydrocarbon deposits: examples from Azerbaijan and Ukraine, Acta Geophysica, doi: 10.1007/s11600-018-0224-0

- Gadirov, V.G. and Eppelbaum, L.V., 2012. Detailed gravity, magnetics successful in exploring Azerbaijan onshore areas. *Oil and Gas Journal*, 5, 60-73
- Gadirov, V.G., 1994. The physical-geological principles of application of gravity and magnetic prospecting in searching oil and gas deposits. *Proceed. of 10th Petroleum Congress and Exhibition of Turkey, Ankara*, pp. 197-203
- Geist, E.L., Childs, J.R. and Scholl, D.W., 1987. Evolution and petroleum geology of Amlia and Amukta intra-arc summit basins, Aleutian Ridge. *Marine and Petroleum Geology*, 4, 334-352
- Griffin, W.R., 1949. Residual gravity in theory and practice. *Geophysics*, 14, 39-58
- Hakimi, M.H., Al-Matary, A.M. and Ahmed, A., 2017. Bulk geochemical characteristics and carbon isotope composition of oils from the Sayhut sub-basin in the Gulf of Aden with emphasis on organic matter input, age and maturity. *Egyptian Journal of Petroleum*, <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2017.06.002>
- Hartkopf-Fröder, C., Kloppisch, M., Mann, U., Neumann-Mahlkau, P., Schaefer, R.G. and Wilkes, H., 2007. The end-Frasnian mass extinction in the Eifel Mountains, Germany: new insights from organic matter composition and preservation. *Geological Society, London, Special Publications*, 278, 173-196. doi: 10.1144/SP278.8
- Heroux, Y., Chagnon, A.G. and Bertrand, R., 1979. Compilation and correlation of major thermal maturation indicators. *AAPG Bulletin*, 63, 2128-2144
- Hunt, J.M., 1995. *Petroleum Geochemistry and Geology*. W.H. Freeman and Company, New York. 743 p.
- Ivakhnenko, O.P., Abirov, R. and Logvinenko, A., 2015. New method for characterisation of petroleum reservoir fluid-mineral deposits using magnetic analysis. *Energy Procedia*, 76, 454-462
- Koçyiğit, A., 1987. Hasanoğlan (Ankara) yöresinin tektonostratigrafisi: Karakaya orojenik kuşağının evrimi. *Yerbilimleri*, 14, 269-293
- Li, M., Lou, Z. H., Zhu, R., Jin, A. M. and Ye, Y., 2014. Distribution and geochemical characteristics of fluids in ordovician marine carbonate reservoirs of the Tahe oilfield. *Journal of Earth Science*, 25, 486-494
- Liu, S., Qi, S., Luo, Z., Liu, F., Ding, Y., Huang, H., Chen, Z., Cheng, S., 2018. The origin of high hydrocarbon groundwater in shallow Triassic aquifer in Northwest Guizhou, China. *Environmental Geochemistry and Health*, 40(1), 415-433
- Lyatsky, H.V., Thurston, J.B., Brown, R.J. and Lyatsky, V.B., 1992. Hydrocarbon exploration applications of potential field horizontal gradient vector maps. *Canadian Society of Exploration Geophysicists Recorder*, 17(9), 10-15
- Mathur, S., Jain, V.K., Tripathi, G.K., Jassal, J.K. & Chandra, K. 1988. Biological marker geochemistry of crude oils of Cambay Basin, India. In: Kumar, R.K., Dwivedi, P., Banerjee, V. & Gupta, V. (eds) *Petroleum Geochemistry and Exploration in the Afro-Asian Region*. Balkema, Rotterdam, 459-473
- Mille, G., Asia, L., Guiliano, M., Malleret, L. and Doumenq, P., 2007. Hydrocarbons in coastal sediments from the Mediterranean Sea (Gulf of Fos area, France). *Marine Pollution Bulletin*, 54, 566-575
- Nettleton, L.L., 1976. *Gravity and Magnetism in Oil Prospecting*. McGraw-Hill, 464 p.
- Okay, A. and Göncüoğlu, C., 2004. The Karakaya complex: A review of data and concepts. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 13, 77-95
- Onojake, M.C., Osuji, L.C. and Oforika, N.C., 2013. Preliminary hydrocarbon analysis of crude oils from Umutu/Bomu fields, south west Niger Delta Nigeria. *Egyptian Journal of Petroleum*, 22, 217-224
- Özdemir, A., 2019a. Hasanoğlan (Ankara) petrol sisteminin organik hidrojeokimyasal kanıtları. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. doi: 10.5505/pajes.2018.12316
- Özdemir, A., 2019b. Büyük Menderes grabeni (Batı Anadolu) Neojen öncesi petrol sisteminin organik hidrojeokimyasal kanıtları ve potansiyel kapanlar. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 325-354
- Özdemir, A., 2018. Suda TPH (Toplam Petrol Hidrokarbonları) analizinin petrol ve doğalgaz arama amaçlı kullanımı: Türkiye'den ilk önemli sonuçlar. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(4), 615-636
- Özdemir, A. and Şahinoğlu, A., 2018. Prospective areas for petroleum exploration and oil & gas potential of the onshore Hatay (Southern Turkey). 18 International Multidisciplinary Scientific GeoConference (SGEM 2018), 719-726, Doi: 10.5593/sgem2018/1.4/S06.094
- Pašteka, R., 2000. 2D semi-automated interpretation methods in gravimetry and magnetometry. *Acta Geologica Universitatis Comeniana*, 55, 5-50
- Peters, K.E., Fraser, T.H., Amris, W., Rustanto, B. and Hermanto, E., 1999. Geochemistry of crude oils from eastern Indonesia. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 83, 1927-1942
- Peters, K.E. and Moldowan, J.M., 1993. *The Biomarker Guide, Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments*. Englewood Cliffs, Jersey, Prentice Hall, 339-363
- Piskarev, A.L. and Tchernyshev, M.Y., 1997. Magnetic and gravity anomaly patterns related to hydrocarbon fields in northern West Siberia. *Geophysics*, 62(3), 831-841
- Ruban, D.A., Al-Husseini, M.I. and Iwasaki, Y., 2007. Review of Middle East Paleozoic Plate tectonics. *GeoArabia*, 12(3), 35-56
- Sakroon, S.A., 2008. Effect of oilfield brine on groundwater quality in Marmul area, Sultanate of Oman. *United Arab Emirates University, MSc. Thesis*, 146 p.
- Sarı, A., Bahtiyar, I., Brenner, R.L. and Dogan, A.U., 2003. Potential source rocks for the crude oils in the İkizce and Tokaris oil fields, SE Turkey. *Petroleum Geoscience*, 9, 347-356
- Satyana, A.H., 2015. Subvolcanic hydrocarbon prospectivity of Java: Opportunities and challenges. *Proceedings, Indonesian Petroleum Association. Thirty-Ninth Annual Convention & Exhibition, May 2015. IPA15-G-105*
- Sayit, K., 2010. Geochemistry and Petrogenesis of the Oceanic Island and Subduction-Related Assemblages from The Paleotethyan Karakaya Subduction/Accretion Complex, Central and Northwest Turkey. *Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi*, 204 s.



- Sayit, K., Göncüoğlu, M.C., Furman, T., 2010. Petrological reconstruction of Triassic seamounts/oceanic islands within the Palaeotethys: Geochemical implications from the Karakaya subduction/accretion Complex, Northern Turkey. *Lithos*, 119, 501-511
- Sorkhabi, R., 2010. Why So Much Oil in the Middle East ?. *Geoexpo*, Vol. 7, No. 1
- Stephen, O.I. and Iduma, U., 2018. Hydrocarbon potential of Nigeria's Inland Basin: Case study of Afikpo basin. *Journal of Applied Geology and Geophysics*, 6(4), 1-24
- Švancara, J., 1983. Approximate method for direct interpretation of gravity anomalies caused by surface three-dimensional geologic structures. *Geophysics*, 48(3), 361-366, <https://doi.org/10.1190/1.1441474>
- Tetiker, S., Yalçın, H. ve Bozkaya, Ö., 2015. Karakaya karmaşığının düşük dereceli metamorfik tarihçesine klorit mineralojisi ve jeokimyası ile yaklaşımlar. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 58(2), 55-83
- Tissot, B.P. and Welte, D.H., 1984. *Petroleum Formation and Occurrence*. Springer-Verlag, 699 p.
- Tran, K.L. and Philippe, B., 1993. Oil and rock extract analysis. in *Applied Petroleum Geochemistry* (M.L., Bordenave, eds.), p. 373-394
- Thompson, J.G., 1982. Hydrocarbon source rock analyses of Pakawau Group and Kapuni Formation sediments, northwest Nelson and offshore South Taranaki, New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 25(2), 141-148, DOI:10.1080/00288306.1982.10421406
- Töpfer, K.D., 1977. Improved technique for rapid interpretation of gravity anomalies caused by two-dimensional sedimentary basins. *Journal of Geophysics*, 43, 645-654 (in Švancara, J., 1983. Approximate method for direct interpretation of gravity anomalies caused by surface three-dimensional geologic structures. *Geophysics*, 48(3), 361-366, <https://doi.org/10.1190/1.1441474>)
- Ulmishek, G.F. and Klemme, H.D., 1991. Depositional controls, distribution and effectiveness of world's petroleum source rocks. *U.S. Geological Survey*, 59 p.
- Volkman, J.K. and Maxwell, J.R., 1986. Acyclic isoprenoids as biological markers. In: *Biological Markers in the Sedimentary Record* (R.B. Johns, eds.), Elsevier, New York; pp. 1-42
- Waples, D.W., 1985. *Geochemistry in Petroleum Exploration*. International Human Resources Development Corp., 232 p.



# Comparative study of Biological activity and chemical composition of Methanolic and Ethanolic plant extracts of *Persea americana* leaves *in-vitro*

Doğa Kavaz<sup>1,2\*</sup>, Covenant Ogbonna<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Bioengineering, Cyprus International University, Nicosia, Mersin 10, Turkey.

<sup>2</sup>Biotechnology Research Centre, Cyprus International University, Nicosia, Mersin 10, Nicosia, Turkey.

(ORCID: 0000-0003-1503-1689)

<sup>3</sup>Department of Bioengineering, Institute of Graduate Studies, Cyprus International University, Nicosia, Mersin 10, Turkey (ORCID: 0000-0002-6799-8026)

(First received 31 July 2019 and in final form 21 October 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.)

**ATIF/REFERENCE:** Kavaz, D. & Ogbonna, C. (2019). Comparative study of Biological activity and chemical composition of Methanolic and Ethanolic plant extracts of *Persea americana* leaves in-vitro. *European Journal of Science and Technology*, (17), 261-270.

## Abstract

The aim of this study was to evaluate and compare biological activity, chemical composition, antioxidant and antimicrobial activity of *Persea Americana* mill refluxed in various solvents, ethanol and methanol respectively. *Persea Americana* is a plant that is quite new to the Turkish medicine and found its way to Turkey as it is little over 10 years old in use. It has been used to treat certain skin problems and diarrhea. The plant extraction was done with various solvents and comparison was done between the extracts produced by ethanol solvent and that of methanol solvent. Chemical constituents of the leaf extract were analyzed using techniques of gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS). The methods employed for in vitro antimicrobial screening were the broth microdilution assay and Kirby bauer assay. The technique 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) free-radical scavenging was applied for antioxidant activity. The ethanol aqueous extract (EAE) IC50 value of 2,4 mg / mL and methanol aqueous extract (MAE) IC50 value was 2,51 mg/ml respectively. According to literature the lesser the IC50 value the more potent the molecule is in the DPPH assay, therefore the results of the IC50 for could be viewed as a powerful antioxidant thus it is highly potent. Scavenging activity for the MAE and EAE were analyzed. Scavenging/inhibition activity increases as concentration increases. The antibacterial activities of the various solvent extract were screened and compared against to *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus Aureus* and *Salmonella typhrium*. The aqueous extracts showed a favourable amount of microbial activity, especially on *S. Aureus* and *E. coli*. *Persea Americana* in both extract conditions showed strong antioxidant ability, strong antimicrobial activity and gave an impressive amount of chemical components which reveal the compounds responsible for its biological activities.

**Keywords:** *Persea Americana*; methanol- ethanol extract; GC- MS; antimicrobial effect, antioxidant effect.

## ***Persea americana* Metanolik ve Etanolik Bitki Ekstraktlarının *in vitro* Biyolojik Aktivite ve Kimyasal Bileşiminin Karşılaştırmalı Çalışması**

### Öz

Bu çalışmanın amacı, çeşitli çözücülerde, etanol ve metanolde geri akıtılan *Persea Americana* bitkisinin biyolojik aktivitesini, kimyasal bileşimini, antioksidan ve antimikrobiyal aktivitesini değerlendirmek ve karşılaştırmaktır. *Persea Americana*, Türk tıbbı için oldukça yeni olan ve 10 yaşından küçük olduğu gibi Türkiye'de görülmeye başlayan bir bitkidir. Bazı cilt problemlerini ve diyareyi tedavi etmek için kullanılmaktadır. Çalışmamızda, bitki özütlemesi için çeşitli çözücüler kullanılmış ve etanol çözücüsü ile üretilen özütler ve metanol çözücüsü ile karşılaştırılmıştır. Yaprak ekstraktının kimyasal bileşenleri, gaz kromatografisi / kütle spektrometrisi (GC / MS) tekniği kullanılarak analiz edilmiştir. Broth mikrodilüsyon ve Kirby bauer teknikleri kullanılarak *in vitro* antimikrobiyal analizler gerçekleştirilmiştir. Antioksidan aktivite için 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) serbest radikal temizleme tekniği uygulanmıştır. Etanol

<sup>1</sup> \*Corresponding Author: Uluslararası Kıbrıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, Kuzey Kıbrıs, Mersin 10 Türkiye, ORCID: 0000-0003-1503-1689, [dkavaz@ciu.edu.tr](mailto:dkavaz@ciu.edu.tr)  
<http://dergipark.gov.tr/ejosat>

sulu ekstrakt (EAE) IC50 değeri 2.4mg/mL ve metanol sulu ekstrakt (MAE) IC50 değeri sırasıyla 2.51mg/ml olarak saptanmıştır. Literatüre göre, IC50 değeri ne kadar düşükse, molekül DPPH testinde o kadar güçlüdür, böylece IC50'nin sonuçları güçlü bir antioksidan olarak görülebilir, bu nedenle oldukça güçlüdür. MAE ve EAE için antioksidan aktivitesi incelenmiştir. Antioksidan aktivitesinin konsantrasyon arttıkça arttığı gözlenmiştir. Çeşitli çözücü ekstraktlarının antibakteriyel aktiviteleri incelenmiş ve *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus Aureus* ve *Salmonella typhrium* bakterileri ile karşılaştırılmıştır. Sulu ekstraktların özellikle *S. Aureus* and *E. Coli* bakterilerin de uygun miktarda mikrobiyal aktivite gösterdiği saptanmıştır. Her iki ekstrakt koşulunda *Persea Americana*, güçlü antioksidan ve güçlü antimikrobiyal aktivite gösterdiği, biyolojik aktivitelerinden sorumlu bileşikleri ortaya çıkaran etkileyici miktarda kimyasal bileşeni olduğu bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** *Persea Americana*; Metanolik – Etanolik bitki ekstraktları; GC- MS; Antimikrobiyal etki, antioksidan etkisi

## 1. Introduction

*Persea americana* which is called avocado; is a fruit originally grown in tropical and subtropical regions that is greatly known around the world. The avocado has gained large stride in worldwide popularity. It has been exposed to intense marketing and an extensive distribution, largely promoted by its health benefits (Araújo et al., 2018). *Persea americana* is cultured in the southern coastal region of Turkey due to its commercial importance. The leaves are widely used for pass kidney stone and against the urinary tract infections as therapeutic among the people in Turkey (Kendir & Köroğlu, 2018). Currently *Persea Americana* is gradually finding its relevance in Turkish medicine since its arrival a little over 10 years ago. Avocado belongs to the plant kingdom, and of the Lauracea family under the order *Laurales*, and genus *Persea*, and specie *P. Americana* (Zafar & Sidhu, 2011). The whole avocado fruits are rich in lots of bio-compounds (pulp, seed and peel) and has enormous advantages, amongst which include antioxidant and anticancer activities as well as skin exfoliation uses (Araujo et al., 2018). Research has shown that avocado seeds whether toasted or dried can be used to treat rashes, diarrhea amongst other common household diseases (Jiménez-Arellanes et al., 2013). Ancient and cultural folklore in Mexico explain that avocado seeds whether toasted/dried can be used to treat rashes, diarrhea amongst other common household diseases (Jiménez-Arellanes et al., 2013). The antioxidant activity of avocado fruit as a whole is a phenomena to reckon with in the ongoing cancer research around the globe as there is the existence of radicals such as superoxides and hydroxyl which is a large scale problem to human health. (Antasionas et al., 2017). Antioxidants are substances that are capable of adequately reducing the effects of the free radicals and oxidative reactions of this macromolecules (Antasionas et al., 2017). Inorganic sources of antioxidants amidst their commendable performance also pose disadvantages that are gradually outweighing their advantage. Research therefore is gradually moving towards greener and natural sources from living things especially plants. Plants therefore have established a widely and far more commendable stride as they feature for therapeutic agents for treatment of diseases. Avocado pears are rich source of soluble phenolics, flavonoids and also retain some therapeutic activity against certain strains of bacteria (Ogundare & Oladejo, 2014). The complement system is an significant buffer of the frequently experienced inflammatory process, so an active study of the biological activity of molecules that can add to this scheme, and more specifically, prevent the activation of this process, is of excellent significance to different research advancement. Compounds showing both complement-inhibiting property and antioxidant activity could be considered prospective therapeutic agents in this note (Yamasaki, 2018). Previous studies (Ogundare & Oladejo, 2014); (Osuntokun et al., 2017) have extensively described the antimicrobial activity of *Persea Americana* against *Salmonella typhi*, *Escherichia coli*, *klebsiella pneumonia* amongst others. The aim of this study was to identify the chemical compounds within the *P. Americana* (avocado) leaves from Yeşilirmak Region and to extract with various solvents, and after which to monitor the effect of the solvent on the *in-vitro* biologic activity of *Persea americana* relative to its antioxidant ability and antimicrobial activity.

## 2. Material and Method

### 2.1 Chemicals and reagents

Materials used in the experiments encompassing reagents and chemicals, were analytical grade and obtained from Merck (Darmstadt, Germany).

### 2.2 Plant sample collection

Avocado (*Persea Americana*) was collected in February 2019 from the region of Yeşilirmak of Northern Cyprus (35° 08' 40" N; 32° 43' 21" E). Avocado leaves were washed with deionized water and dehydrated at room temperature for about 10 days and weighted. The process of drying the *Persea americana* leaves was carried out until they were kept at a steady weight and free of moisture. Then *Persea americana* leaves were grinded to fine powder using a simple laboratory mill. Botanical identification was done in the Faculty of Agricultural Sciences and Technologies by Prof. Dr. İbrahim Baktır (Dean) from Cyprus International University.

### 2.3 Preparation of fruit extract

*Persea americana* methanol and ethanol extract was prepared according to (Ribeiro et al., 2013). Dried *P. Americana* leaves were grinded by a miller at the laboratory. To 2 aliquot of 20g ground leaves of *P. Americana*, 200 ml of 95% ethanol and methanol HPLC grade was added and allowed to shake for 48 h using an overhead shaker. After 48hrs the methanol aqueous extract (MAE) and the ethanol aqueous extract (EAE) were strained with the use of a Whatman filter paper. The extract was collected by the use of rotary evaporator at 40rpm at a temperature of 50°C for 1hr. Dry mass of extracts were stored for further use.

## 2.4 Phytochemical Analyses

### 2.4.1. Determination of total phenolic content (TPC)

The TPC values were established by applying the Folin-Ciocalteu colorimetric assay described previously by Büyüktuncel et al, 2014. The preparation of calibration curve was done by obtaining 0.1 mL volume of various w/v concentrations of 50, 100, 150, 200, 250 and 300 mg/L gallic acid solutions. 0.1 mL 20-times dilution samples of *P. Americana* (diluted with 13% (w, v) ethanol and methanol) were transferred into a glass test tube and then 2 mL of 2% disodium carbonate was added. After incubation for 2 min, 0.1 mL of Folin-Ciocalteu's reagent was added. Sequel to this, at a 760 nm wavelength the absorbance was detected by using a UV Visible Spectrophotometer (Shimadzu UV-2450). The amount of phenols was shown as mg of gallic acid equivalent per gram of extract (mg GAE/g). Spectrophotometric determination of the TPC was carried out with Folin-Ciocalteu method as adapted for *P. Americana* leaves extract analysis, standardised with gallic acid. The method works by the principle of reduction of a phosphotungstenphosphomolybdate complex by phenols present to blue colored products.

### 2.4.2. Determination of total flavonoid content (TFC)

The TFC data were analysed with the aluminum chloride colorimetric method as discussed by Marinova et al., (2005). Absorbance measured at a wavelength of 510 nm. The total amount of flavanoids was quantified in mg (weight) of quercetin equivalents per gram of extract (mg QE/g). All tests were performed in three sets.

## 2.5 Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)

The different solvent extracts were analyzed by gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS) according to a certain conditions stated by (Ukwubile et al., 2019). The GC or GC–MS conditions were optimized based on the property of the various solvent extract. A 30 m×0.25 mm, (thickness of film) 0.25 µm, HP-5 fused silica capillary column was utilized. The carrier gas, Helium (purity 99.999%), had a flow rate of 0.9 mL/min. The oven temperature of the column was programmed from 50 °C (hold 1 min) to 240 °C (hold 10 min) at a 5 °C/min rate. EAE and MAE was dispersed in methanol and ethanol respectively introduced in an Agilent 7890A GC system joined with an MS (Agilent technologies) by author injection at the environmental laboratory, Cyprus international university. The operating conditions of the GC–MS used in the study were as follows: temperature of oven was set at 50°C for 2 min then 100°C with the rate of 10°C/ min and steadily increased to 200°C and held at a constant temperature for a period of 10 min. The quantity of the sample was 2 µL and the carrier gas (helium) was 1 mL / min. 70 eV was used to ionize the sample parts. The methanol and ethanol *P. Americana* extracts were analyzed for a time period of 24.50 min.

The ethanol extract was analysed by the following GC conditions stated by (Abdel-Naime et al., 2019). 1 µL of the sample was injected and the extract analysis was done as described by a flame ionization detector programmed temperature method. Initial temperature was set as 70 °C, and rate of increase was arranged as 5 °C/min to 220 °C. The total time using technique was 60 min and the split ratio was 1:50. Carrier gas; Helium with a flow rate of 0.8 mL/min. To identify the compounds, a comparison of their mass spectra ws done against the database the (NIST library) and Wiley library 9.

## 2.6 Antioxidant activity by DPPH scavenging assay

The antioxidant activity was determined by using 1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) as a scavenging radical on ethanolic and methanolic extracts of *P. Americana* respectively with a few modifications. DPPH ethanolic and methanolic solution (1mM) were prepared respectively. 3 mL of solution separately added to 100mg/ml, 75mg/ml, 50mg/ml, 25mg/ml and 12.5mg/ml respectively and kept in the dark. This was done for both the EAE and MAE. Absorbance values of the DPPH ethanolic and methanolic solutions at different periods were established at 517 nm by a spectrophotometer (Shimadzu UV-2450).

The follow equation was utilised to determine the %DPPH Scavenging activities of examined samples.

$$\%DPPH = [1 - (As/Ac)] \times 100$$

Where: As (tested sample) and Ab (blank sample) is the absorbance of the the sample with no reagent within.

## 2.7 Antibacterial activity

### 2.7.1 Broth Microdilution

Four strains of bacteria were used to test the inhibitory ability of the ethanolic and methanolic extract. *Bacillus cereus* (ATCC 7064), *Escherichia coli* (932), *Salmonella typhyrimum* (B-4420) and *Staphylococcus aureus* (6538 P) were chosen to test as microorganisms. Microbial strains obtained from the Biotechnology Research Center, Cyprus International University. The suspensions of microbial cultures were serially diluted until the resultant concentration was at par with the mcfarland turbidity standard ( $1.5 \times 10^8$  CFU/mL). The stock solution concentration was 1g of EAE and MAE were dissolved in 35% DMSO to give a 10ml (w/v) solution. To the labelled microliter plate containing nutrient Broth (NB), EAE and MAE at different volumes of the stock solution was added to the well plates ranging from 100ul, 50ul, 25ul, 12.5ul, 6,25ul respectively. Sterilized culture medium including tested samples DMSO was adopted as negative controls. The well concentrations where no turbidity was noted in the wells after a 24hour were stated to be the MIC of the ethanolic and methanolic extracts. The potency of bacteria in the culture of Mueller Hinton Broth (MHB) was further established by transferring a volume of the microbial suspension to a petri dish containing Muller Hinton Agar (MHA), following which incubation at a stable temperature of 37 ° C. The MBC were determined as the least concentration of ethanolic and methanolic *P. Americana* extract required to totally restrict the growth of the microorganisms after 24 h. All analysis was carried out twice on two separated tests.

### 2.7.2 Disk diffusion (Kirby Bauer) assay

The protocols in this study was according to (Umar et al., 2019) with slight modifications. Briefly, each sterile Petri dish with a diameter of 9 cm was prepared with 20 mL of Mueller–Hinton medium. Standard quantity of a bacterial suspension (108 CFU / mL) was dispersed on the plates after solidification. A sterile paper filter disk (6 mm) with 20 µL of *P. americana* was put on the plate surface after 5 min. To accelerate extract diffusion into the agar, the plates were incubated at 4 °C for 1 h and then incubated at 37 °C, for 24 to 48 h. Bactericidal areas (mm) diameters were evaluated, including control disks' diameter. Gentamycin (30 µg / disk) was used as positive controls for gram-positive fungi and chloroamphenicol (30 µg / disk). All experiments were carried out in duplicates.

## 2.8 Statistical analysis

All experiments were carried out parallely duplicated with three replicates. Graphs and peaks were plotted using the Origin Pro.

## 3. Results and Discussion

This study conducted to identify the chemical compounds within the *P. Americana* (avocado) leaves and to extract with various solvents, and after which to monitor the effect of the solvent on the *in-vitro* biologic activity of *P. Americana* relative to its antioxidant ability, physicochemical composition and antimicrobial activity. Total phenols and flavannoid are presented in Table 1.

### 3.1 Total phenols and total flavannoid content

Table 1. Physicochemical composition for *Persea Americana* leaves

Plant	Sample	Total Phenolics* (mg GAE/g of extract)**	Total Flavonoids* (mg QE/g of extract)***
<i>Persea Americana</i> leaves	Ethanol	82.48 ± 4.33	44.32 ± 2.85
	Methanol	91.72 ± 3.42	71.49 ± 3.07

\*Each value is expressed as mean ± standard deviation (SD) ( $n = 3$ ). Values in the column followed by a different letter superscript are significantly different ( $p \leq 0.05$ ).

\*\*Total amount of phenols was expressed as Gallic acid equivalents (mg GAE/g of extract).

\*\*\*Total number of flavonoids was expressed as Quercetin equivalents (mg QE/g of extract).

The extraction method of *Persea americana* (avocado) leaves using 95% HPLC grade ethanol and methanol as a universal solvent for refluxing is quite capable of dissolving polar compounds, so that multiple polar and non-polar compounds, such as certain bioactive elements contained in avocado leaves, can then be attracted to the solvent, although study has shown that ethanol is less effective in screening antioxidants (Rahman et al., 2018). Methanol in comparison to ethanol has proven to be a better solvent for extraction of bioactive and antioxidant but the use of ethanol is safer compared to methanol (Rahman et al., 2018). The Table 1 shows the total phenolic content of *Persea Americana* extracted by both 95% methanol



and ethanol respectively. It was observed that for the total phenolics in the methanol extract appeared quite higher than that of ethanol extract.

*P. Ameriana*'s total phenolic content and avocado's antioxidant potential were influenced by the type of avocado and solvent extraction. By donating hydrogen atoms or by transferring single electrons, flavonoids can immobilise free radicals. Flavonoids are abundant in fruits and vegetables, but they form a significant cereal and pulse group. (Saharan et al., 2017). The flavanoid content for the methanol extract of *P. Americana* was 71,49 mg QE/g of extract and that of ethanol extract was which can be compared to that of Rahaman et al., 2017 where values of flavanoid in avocado leaves showed to be strongly positive which encourages the result of a high amount of flavanoid observed in this study.

### 3.2 GC-MS analysis of bioactive compounds

The Table 2 and Figure 1. showed occurrence of the various bioactive compound as observed by different organic solvents. Some compounds were in increased occurrence depending on the solvent of choice.

**Table 2. GC-MS profile of *P. Americana* for methanolic extract**

S/N	Chemical compound Name Methanolic extract	Retention times	Molecular formula	Molecular weight g/mol
1	Disiloxane	5.542	H <sub>6</sub> Si <sub>2</sub> O	78.217
2	1,1'-bibicyclo (2.2.2) octyl-4-carboxylic acid	7.767	C <sub>11</sub> H <sub>16</sub> O	164.248
3	Salicylic acid, bis-TMS	9.108	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub> OR HOC <sub>6</sub> H <sub>4</sub> COOH	138.122
4	Palmitic acid	9.608	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	256.43
5	Cyclopentasiloxane	10.342	H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> Si <sub>5</sub>	230.5
6	Orcinol	11.575	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	
7	Diterpenes	11.775	C <sub>34</sub> H <sub>47</sub> NO <sub>11</sub>	645.746
8	Cyclomethicone 6	13.000	C <sub>10</sub> H <sub>30</sub> O <sub>5</sub> Si <sub>5</sub>	370.77
9	2,3-dehydro-4-oxo-. beta.-ionol	14.083	C <sub>13</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	206.285
10	Cholesteryl oleate	16,292	C <sub>45</sub> H <sub>78</sub> O <sub>2</sub>	651.117
11	Diethyl o phthalate	17.008	C <sub>12</sub> H <sub>14</sub> O <sub>4</sub>	222.24
12	d-Nerolidol	24.000	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	222.372

S/N	Chemical compound Name Ethanolic extract	Retention times (min)	Molecular formula	Molecular weight g/mol
1	Vanillylmandelic acid (trimethylsilyl derivative)	14.167	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>5</sub> Si <sub>3</sub>	414.72
2	Solvanol	15.717	C <sub>12</sub> H <sub>14</sub> O <sub>4</sub>	222.24
3	Allethrine	16.892	C <sub>19</sub> H <sub>26</sub> O <sub>3</sub>	302.414
4	Palatinol C	17.817	C <sub>16</sub> H <sub>22</sub> O <sub>4</sub>	278.348
5	Provitamin D4	20.042	C <sub>28</sub> H <sub>46</sub> O	398.675
6	Isochiapin B	27.550	C <sub>19</sub> H <sub>26</sub> O <sub>6</sub>	350.173
7	Globulol	29.058	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	222.372
8	5.alpha.-Ergost-8(14)-ene	34.900	C <sub>28</sub> H <sub>48</sub>	384.692

Table 3. GC-MS profile of *P. Americana* for Ethanolic extract

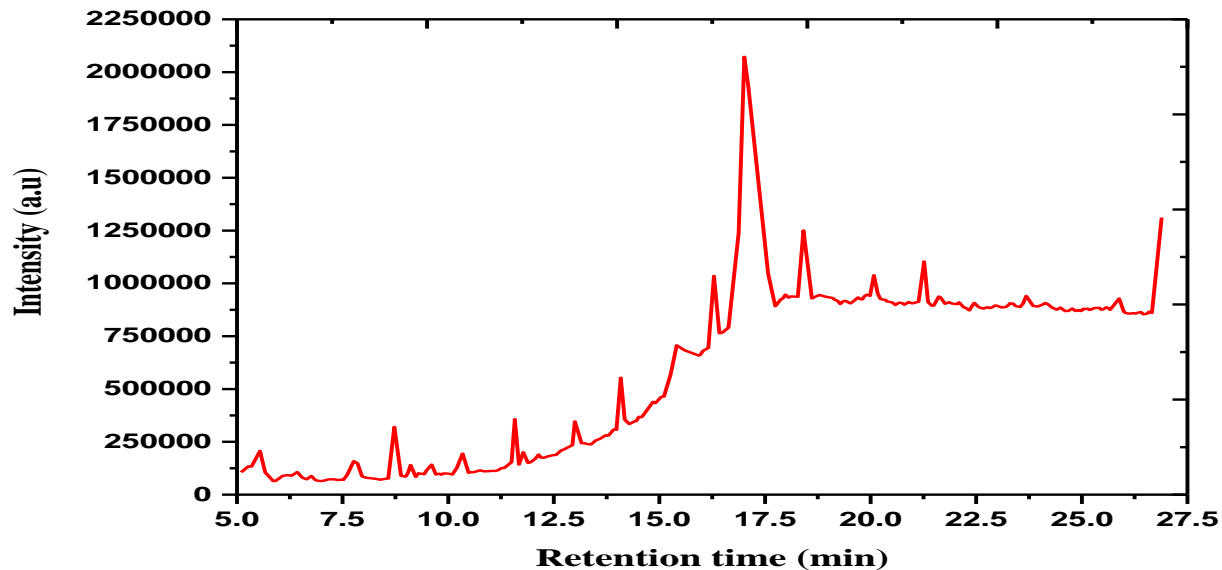


Figure 1. Chromatogram showing the *P. Americana* extracted by Methanol

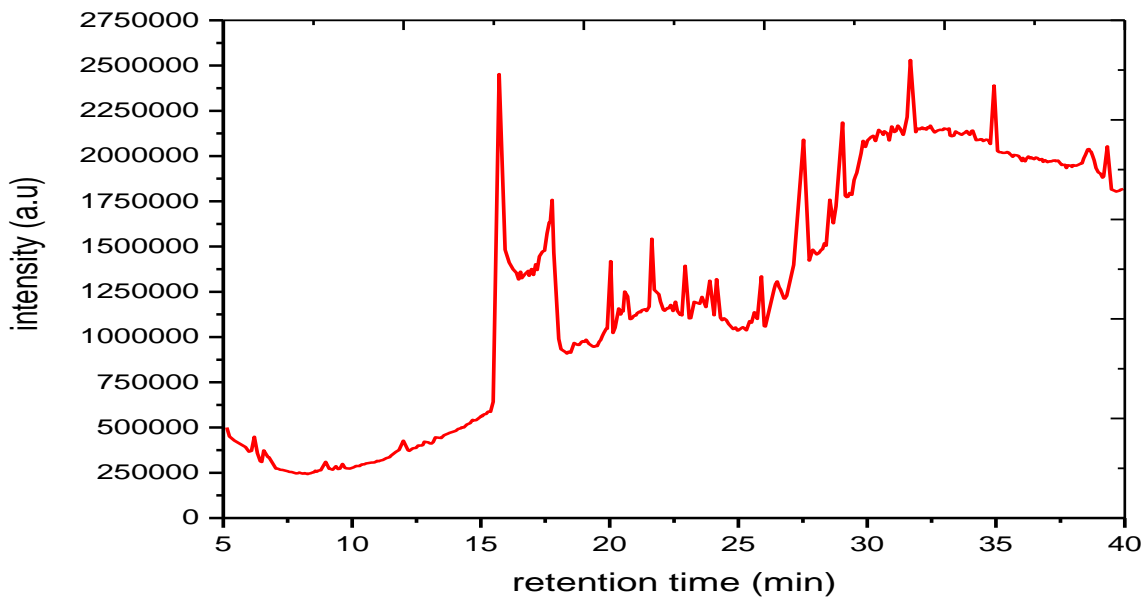


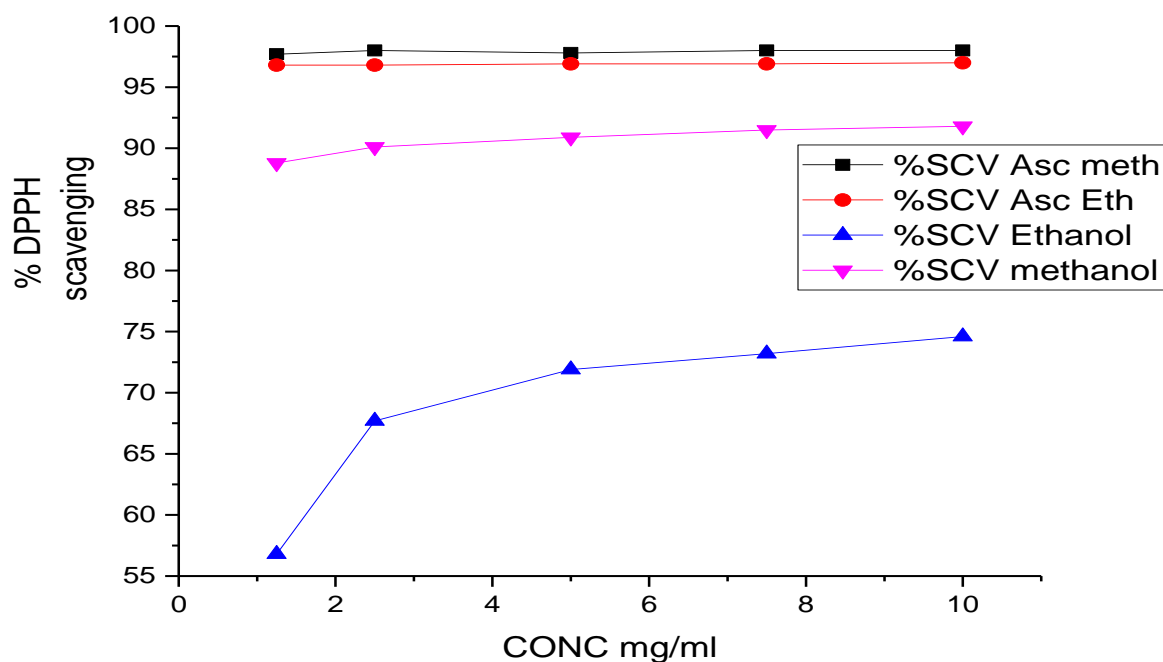
Figure 2. Chromatogram showing the *P. Americana* extracted by Ethanol

It was gathered by observation that the qualitative extraction of *P. Americana* using methanol and ethanol showed the presence of varying chemical components such as Globulol which is one of the compounds responsible for antimicrobial activity according to (Manliang et al., 2007; Manliang 2008). Nerolidol also known as peruvial was present in the ethanolic extract of *P. Americana*; Nerolidol has a floral odor, a type of alcohol and exists as a vital bioactive component in some plants including *P. Americana* and possess strong anticancer and antitumor ability (Chan et al., 2016). In another study, they found some of the chemical compounds like palmitic acid, isochiapin B which were part of the components observed in the profiling carried out. Besides these aforementioned most of the represented components are not yet reported or accessible (Senthilkumar et al., 2012).

### 3.3 Antioxidant activity

Table 4. Various extracts and standards showing IC50 values

Samples analyzed	IC50 values
Ethanolic extract (EAE)	2,5 mg/ml
Methanolic extract (MAE)	3,2 mg/ml
Ascorbic acid standard	5 mg/ml



**Figure 3. Showing the comparison between the various solvent % scavenging activity in relation to ascorbic acid Standard SCV; Percentage of scavenging activity.**

In human’s research has shown that oxidative stress results as a result of increased oxygen radicals which could affect the function of some bio-molecules (Nathaniel et al., 2016). In the *In vitro* antioxidant assay, ascorbic acid was utilized as a standard control. Antioxidants yields from food or natural sources, has a strongly correlation with various extraction parameters like solvent concentration and physiochemical characteristics (Rodríguez-Carpena et al., 2011). Ascorbic acid was weighed and dissolved in both methanol and ethanol respectively. These methods were done to determine the antioxidant potential of *P. Americana* ethanolic and methanolic extracts and the interactions with free radicals. *In vitro* antioxidant assays have the potential to give a certain level of information that could contribute and give insight as to what happens in *in vivo* assay. Ascorbic acid has very high standard antioxidant activity, the percentage DPPH scavenging activity appeared to increase as concentration increased for both the standard and the other solvent extracts of consideration. The absorbance appeared to reduce as concentration increased and it correlated with what (Rahman et al., 2018) reported in a similar research. The varying of  $IC_{50}$  value of *P. Americana* extract in ethanol and methanol is worthy of note. Compared to the  $IC_{50}$  values of Ascorbic acid which was 5mg/ml, methanolic extract had a lower  $IC_{50}$  value is 3.2mg/ml which according to previous literature is a good one given that lower  $IC_{50}$  values indicate great antioxidant activity (Rahman et al., 2018). Ethanolic plant extract appeared to have the lowest  $IC_{50}$  value amongst the three of them 2.5 mg/ml which was lower than both the methanolic extract and the standard.

**Table 5: Showing the comparison between other authors findings and this present research**

Specimens/extract of <i>Persea americana</i>	Antioxidant Scavenging activity (%)	Authors
Ethanolic extract	74.6	Present study
Methanolic extract	91.8	Present study
Ethanolic extract	70	( Kingne et al., 2018)
Methanolic extract	88	(Fatmawaty, Anggreni, Fadhil, & Prasasty, 2019)
Ethanolic extract	66.7	(Asaolu et al., 2010)
Methanolic extract	80	(Asaolu et al., 2010)
Ethanolic extract	48.3	(Gbadamosi & Kalejaye, 2017)
Methanolic extract	91.7	(Salim, 2013)

This research recorded a highest antioxidant activity of 74.8 % for *Persea Americana* ethanolic extract and for *P. Americana* methanolic extract 91.8%. It's safe to say that increasing percentage of scavenging activity will mean a reducing IC50 value. In comparison to other authors, it is worthy of note that the *P. Americana* ethanolic extract considered within this study had a higher antioxidant activity than other studies expressed in the Table 5. Similar to most studies, it has been observed that ethanolic extracts of *P. Americana* leaves have relatively low antioxidant activities in comparison to the counterpart methanolic extracts of the same plants. Further observation and comparison of the methanolic extract showed that across the authors evaluated, methanol extracts of *P. Americana* leaves appear to have higher antioxidant activities. The antioxidant activity recorded for this study appeared to be higher than the studied authors. This variances might be as a result of many factors like human and equipment errors and maturity of the leaves in question. Some research have reported that maturity of the *P. Americana* leaves used for the extract could affect the result of the antioxidant activities thus younger leaves are more likely to have higher antioxidant activity than mature leaves ( Kingne et al., 2018).

### 3.4 Antibacterial activity

**Table 6: Minimum inhibitory concentrations(MIC), and minimum bactericidal concentrations(MBC)**

Values are expressed as the mean ± SD (n = 3)

Microorganisms	<i>E. coli</i> O157:H7 (932)					<i>S. typhimurium</i> (B-4420)					<i>B. cereus</i> (ATCC 7064)					<i>S. aureus</i> (6538 P)				
	100	50	25	12.5	6.25	100	50	25	12.5	6.25	100	50	25	12.5	6.25	100	50	25	12.5	6.25
Concentration (mg/ml)																				
Ethanolic extract (EAE)	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+
Methanolic extract (MAE)	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	+	+	+

EAE= Ethanol Extract; MAE= Methanol Extract

Negative Control = NB: Nutrient Broth; Positive Control = NNB: Nutrient Broth with Bacteria

(+): Shows growth of Bacteria; (-): Shows NO growth of Bacteria

The minimum inhibitory concentration is the weight per unit volume of a drug capable of inhibiting the growth of microorganisms. The MIC for this research was determined as the lowest concentration that didn't have color change after inoculating the microorganism with the similar concentration as the Mc farland standard. In this research, the various wells were plated out for better observation. Keen observation of the interaction between the microorganisms and the plant extracts helped to assess the viability and antimicrobial activity of *P. Americana* (Chakraborty, M., & Mitra, 2008). *E. coli* and *S. aureus* had a minimum inhibitory concentration (50mg/ml) as the ethanolic extract was able to inhibit its growth at the said concentration, while *E. coli* and *S. aureus* MIC for methanolic extract was 25mg/ml. This explains that for the *E. Coli* and *S. aureus*, the methanolic extract has a lower MIC and thus was more effective than the ethanolic extract. The *S. typhirium* and *B. cereus* had very low MBC an MIC because the plant extract had the ability to completely inhibit the proliferation of the said bacteria. In the metanolic extract of *P. Americana*, on an average a lower MIC was observed for all the microorganisms. A few factors may have been responsible for the different MIC of *P. Americana* in various solvents like polarity which might be as a result of the solvent of extraction and or maybe thepolarity of the solvent. For *E. Coli* and *S. aureus* the MIC was 50mg/ml with the ethanolic extract while that of the methanolic extract was 25mg/ml. The *P. americana* ethanolic and mehanolic extract was more effective on *S. typhirium* and *B. cereus* repectively. The efficacy of various extracts can be described by the polarity of the solvents which might affect how certain compounds within the samples dissolve or interact with the solvent (Cardoso et al., 2016).

## 4. Conclusions and Recommendations

The research intends to compare activities of *Persea Americana* in two different solvents with respect to the antioxidant activity, chemical composition and antimicrobial analysis. From the antioxidant test, we observe different % scavenging activity and IC50 between the solvent extracts; for the microbial test some microorganisms were more sensitive to one of the extracts than the other; for the chemical composition certain compounds were more visible with significant amount in methanol that in ethanol and vise versa. In other words it is safe to say that the solvent of choice for extraction plays a role in the bioactivity of a given plant material as different solvents interact differently with certain components of this biological material. As a result, *Persea Americana* in both extract conditions showed strong antioxidant ability, strong antimicrobial activity and gave an impressive amount of chemical components which reveal the compounds responsible for its biological activities.

### 4.1. Acknowledgement

Due recognition goes to Cyprus International University Biotechnology Research Laboratory directors who contributed their quota to make this sresearch a grand success.



## References

- Abdel-Naime, W. A., Fahim, J. R., Fouad, M. A., & Kamel, M. S. (2019). Antibacterial, antifungal, and GC–MS studies of *Melissa officinalis*. *South African Journal of Botany*, *124*, 228–234. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.05.011>
- Antasionas, I., Riyanto, S., & Rohman, A. (2017). Antioxidant Activities and Phenolics Contents of Avocado (*Persea americana* Mill.) Peel in vitro. *Research Journal of Medicinal Plants*, *11*(2), 55–61. <https://doi.org/10.3923/rjmp.2017.55.61>
- Araújo, R. G., Rodriguez-Jasso, R. M., Ruiz, H. A., Pintado, M. M. E., & Aguilar, C. N. (2018). Avocado by-products: Nutritional and functional properties. *Trends in Food Science and Technology*, *80*(August), 51–60. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.027>
- Asaolu. *Evaluation of in.pdf*. (n.d.).
- Büyüktuncel, E., Porgalı, E., & Çolak, C. (2014). Comparison of Total Phenolic Content and Total Antioxidant Activity in Local Red Wines Determined by Spectrophotometric Methods. *Food and Nutrition Sciences*, *05*(17), 1660–1667. <https://doi.org/10.4236/fns.2014.517179>
- Cardoso, P. F., Scarpassa, J. A., Pretto-Giordano, L. G., Otaguiri, E. S., Yamada-Ogatta, S. F., Nakazato, G., ... Vilas-Boas, G. T. (2016). Actividad antibacteriana de extractos de aguacate (*Persea americana* Mill.) sobre *Streptococcus agalactiae*. *Phyton*, *85*, 218–224.
- Chan, W. K., Tan, L. T. H., Chan, K. G., Lee, L. H., & Goh, B. H. (2016). Nerolidol: A sesquiterpene alcohol with multi-faceted pharmacological and biological activities. In *Molecules* (Vol. 21). <https://doi.org/10.3390/molecules21050529>
- Fatmawaty, F., Anggreni, N. G. M., Fadhil, N., & Prasasty, V. D. (2019). Potential In Vitro and In Vivo Antioxidant Activities from Piper Crocatum and Persea Americana Leaf Extracts. *Biomedical and Pharmacology Journal*, *12*(2), 661–667. <https://doi.org/10.13005/bpj/1686>
- Gbadamosi, I. T., & Kalejaye, A. O. (2017). Comparison of the antioxidant activity, phytochemical and nutritional contents of two antihypertensive ethnomedicinal plants. *Ife Journal of Science*, *19*(1), 147. <https://doi.org/10.4314/ij.s.v19i1.15>
- Jiménez-Arellanes, A., Luna-Herrera, J., Ruiz-Nicolás, R., Cornejo-Garrido, J., Tapia, A., & Yépez-Mulia, L. (2013). Antiprotozoal and antimycobacterial activities of *Persea americana* seeds. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, *13*. <https://doi.org/10.1186/1472-6882-13-109>
- Kendir, G., & Koroğlu, A. (2018). Evaluation of avocado (*Persea americana* mill.) leaves in terms of public health. *Marmara Pharmaceutical Journal*, *22*(3), 347–356. <https://doi.org/10.12991/jrp.2018.74>
- Kingne Kingne, F., Doungue Tsafack, H., Teboukeu Boungo, G., Mboukap Ntongme, A., Solefack Nguepi, E., Edie Kinge, E., ... Afeanyi Azia, T. (2018). Phenolic Content and Antioxidant Activity of Young and Mature Mango (*Mangifera indica*) and Avocado (*Persea americana*) Leaves Extracts. *Journal of Food Stability*, *1*(1), 14–27. Retrieved from [www.foodstability.com](http://www.foodstability.com)
- Marinova, D., Ribarova, F., Atanassova, & M. (2005). Total phenolic and total flavanoids in Bulgarian fruits and vegetables. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, *40*(3), 255–260.
- Nathaniel, O. B., Selina, A. S., John, K. M., Mercy, B., Sylvester, A. A., & Michael, B. M. (2016). Phytoconstituents, antimicrobial and antioxidant properties of the leaves of *Persea americana* Mill cultivated in Ghana. *Journal of Medicinal Plants Research*, *9*(36), 933–939. <https://doi.org/10.5897/jmpr2015.5902>
- O, O. A., & O, O. B. (2014). Antibacterial Activities of the Leaf and Bark Extract of *Persea americana*. *American Journal of Ethnomedicine*, *1*(1), 64–071. Retrieved from [www.ajethno.com](http://www.ajethno.com) <http://www.ajethno.com>
- Osuntokun, O., Ukwuoma, P., Yusuf-Babatunde, A., & Ige, O. (2017). Evaluation of Antimicrobial Activity, Phytochemical Screening and Gas Chromatography-Mass/ Spectrophotometric Profile of Essential Oil from *Persea americana* & *Citrus sinensis*. *Asian Journal of Medicine and Health*, *5*(1), 1–17. <https://doi.org/10.9734/ajmah/2017/33766>
- Rahman, N., Dewi, N. U., & Bohari. (2018). Phytochemical and antioxidant activity of avocado leaf extract (*Persea americana* Mill.). *Asian Journal of Scientific Research*, *11*(3), 357–363. <https://doi.org/10.3923/ajsr.2018.357.363>
- Saharan, P., Sadh, P. K., & Singh Duhan, J. (2017). Comparative assessment of effect of fermentation on phenolics, flavanoids and free radical scavenging activity of commonly used cereals. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *12*(October), 236–240. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2017.10.013>
- Salim, D. M. (2013). *in Vitro Cytotoxic and Antioxidant Activities of Persea americana* Extracts on Different Human Cell Lines of Skin. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, *9*(1), 137–144.
- Senthilkumar, N., Murugesan, S., & Vijayalakshmi, K. B. (2012). GC-MS analysis of *Trichilia connaroides* (Wight & Arn.) Benth (Meliaceae): A tree of ethnobotanical records. *Asian Journal of Plant Science and Research*, *2*(2), 193–197.
- Tan, M., Zhou, L., Huang, Y., Wang, Y., Hao, X., & Wang, J. (2008). Antimicrobial activity of globulol isolated from the fruits of *Eucalyptus globulus* Labill. *Natural Product Research*, *22*(7), 569–575. <https://doi.org/10.1080/14786410701592745>
- Ukwubile, C. A., Ahmed, A., Katsayal, U. A., Ya'u, J., & Mejida, S. (2019). GC–MS analysis of bioactive compounds from *Melastomastrum capitatum* (Vahl) Fern. leaf methanol extract: An anticancer plant. *Scientific African*, *3*, 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00059>
- Umar, H., Kavaz, D., & Rizaner, N. (2019). Biosynthesis of zinc oxide nanoparticles using *Albizia lebbek* stem bark, and evaluation of its antimicrobial, antioxidant, and cytotoxic activities on human breast cancer cell lines. *International Journal of Nanomedicine*, *14*, 87–100. <https://doi.org/10.2147/IJN.S186888>
- Yamasaki, R. (2018). Connexins in health and disease. *Clinical and Experimental Neuroimmunology*, *9*, 30–36. <https://doi.org/10.1111/cen3.12433>
- Zafar, T., & Sidhu, J. S. (2011). Avocado: Production, Quality, and Major Processed Products. In *Handbook of Vegetables and Vegetable Processing* (pp. 525–543). <https://doi.org/10.1002/9780470958346.ch26>.



## Akıllı Ev Teknolojisi için Kablosuz Akıllı Kit

Melih Kuncan<sup>1\*</sup>, Ömer Çaça<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Siirt, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9749-0418)

<sup>2</sup> Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Siirt, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2608-8245)

(İlk Geliş Tarihi 16 Ağustos 2019 ve Kabul Tarihi 21 Ekim 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.605709)

**ATIF/REFERENCE:** Kuncan, M. & Çaça, Ö. (2019). Akıllı Ev Teknolojisi için Kablosuz Akıllı Kit. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 271-282.

### Öz

Akıllı ev teknolojisi, son zamanlarda özellikle enerji tasarrufunun sağlanması, geniş güvenlik önlemlerinin alınması, yaşam konforunun artırılması vb. birçok avantajlarından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada akıllı ev otomasyon teknolojisinin mevcut yapıları daha ekonomik ve daha hızlı kurulabilmesi için, kablosuz olarak geliştirilen ve sistemin kontrolünün android tabanlı cep telefonu ile sağlanarak, santral üzerinden kumanda edilen kablosuz akıllı kitler tasarlanmıştır. Geliştirilen kablosuz akıllı kitler, android tabanlı cep telefonu üzerinden santrale gönderilen veriye bağlı olarak santral tarafından kumanda edilmektedir. Mevcut yapıda kontrol edilmek istenen priz ve aydınlatmalara kablosuz akıllı kitler monte edilmektedir. Cep telefonundan gönderilen komuta bağlı olarak aydınlatma sistemi ve prizler devreye alınmakta, devreden çıkarılmaktadır. Aynı zamanda geliştirilen sistem hibrit bir sistem olup kablosuz sistemlerde (çamaşır makinesi, buzdolabı, aydınlatmalar, klima vb.) santrale doğrudan bağlanarak cep telefonu üzerinden kumanda edilmektedir. Sistemde bulunan keypet ile doğru şifrenin girilmesi durumunda dış kapının açılması ve cep telefonu üzerinden devreye alınan alarm sisteminin herhangi bir hareket durumunda ikaz vermesi geliştirilen akıllı ev otomasyonunun bir diğer avantajı olarak dikkat çekmektedir. Bu çalışmada üretilen kablosuz akıllı kit ile mevcut bir enerji sistemini uzaktan android tabanlı bir cihazdan kontrol etmek mümkündür. Tasarlanan ver üretilen sistem, santral ve kablosuz akıllı kitlerden oluşmaktadır. Kontrol edilmek istenen priz, aydınlatma vb. diğer sistemlere akıllı kitler monte edilmektedir. Bu akıllı kitler, santralden gelen bilgiye göre devreye girmekte veya devreden çıkarılmaktadır. Sistemin kontrolü ise android tabanlı mobil cihaz üzerinden sağlanmaktadır. Geliştirilen kablosuz akıllı kit hibrit özelliğe sahip olup hem kablolu sistemlerde hem de kablosuz olarak evimizdeki cihazları kontrol edebilme yeteneğine sahiptir. Prototip olarak üretilen kablosuz akıllı kit mevcut bir yapı içinde bulunan aydınlatma ve priz hatlarına takılarak test edilmiştir. Test sonuçlarına göre 150 m<sup>2</sup> ile 200 m<sup>2</sup> arasındaki bir evde kablosuz akıllı kit ile santral arasındaki veri iletimi sorunsuz olarak sağlanmaktadır. Açık alanda ise 150 m ile 200 m arasında bir çekim gücü ile veri iletimi sağlandığı yapılan testler sonucunda gözlemlenmiştir. Benzer şekilde sistemin hibrit olma özelliği ile kablolu sistemlere de entegre edilerek test edilmiştir. Her iki durumda da test sonuçları başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiş olup kullanılır duruma getirilmiştir. Sistemde bulunan güvenlik sistemlerinden alarm sistemi de testlerden başarıyla geçmiştir. Bu çalışmada tasarlanan ve üretilen kablosuz akıllı kitin başta akıllı ev teknolojisi alanı olmak üzere birçok farklı alanda kullanılabiliceği öngörülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Akıllı ev, Kablosuz kit, Akıllı kit, Akıllı ev otomasyonu, Akıllı ev teknolojisi.

## Wireless Smart Kit for Smart Home Technology

### Abstract

Smart home technology, especially in recent years to provide energy savings, taking wide security measures, increasing the comfort of life and so on. It is widely used because of its many advantages. In this study, wireless smart kits, which are developed wirelessly and controlled by the android based mobile phone, are designed to control the system in order to install the smart home automation technology to the existing structures more economical and faster. The developed wireless smart kits are controlled by the exchange

<sup>1</sup> Sorumlu Yazar: Siirt Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Siirt, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9749-0418), [melihkuncan@siirt.edu.tr](mailto:melihkuncan@siirt.edu.tr)

based on the data sent to the exchange via the android based mobile phone. Wireless smart kits are installed in the sockets and lighting to be controlled in the existing structure. Lighting system and sockets are activated and deactivated depending on the command sent from the mobile phone. At the same time, the developed system is a hybrid system and it is controlled directly by the mobile phone in wireless systems (washing machine, refrigerator, lighting, air conditioning, etc.). Another advantage of the smart home automation system is the opening of the external door when the correct password is entered with the keypet in the system and the alarm system activated via the mobile phone to warn in case of any movement. It is possible to control an existing energy system remotely from an android based device with the wireless smart kit produced in this study. Designed and produced, the system consists of switchboard and wireless smart kits. Sockets, lighting and so on. smart kits are installed in other systems. These smart kits are activated or deactivated according to the information received from the exchange. Control of the system is provided via android based mobile device. The developed wireless smart kit has a hybrid feature and is capable of controlling the devices in our home both in wired systems and wirelessly. The wireless smart kit, which is produced as a prototype, has been tested by plugging it into the lighting and socket lines in an existing structure. According to the test results, data transmission between wireless smart kit and switchboard is ensured without problems in a house of 150 m<sup>2</sup> to 200 m<sup>2</sup>. In the open area, data transmission with a gravitational power of 150 m to 200 m was observed as a result of the tests performed. Similarly, it has been tested by being integrated to the cable systems with the hybrid feature of the system. In both cases the test results were successfully performed and made available. The alarm system, one of the security systems in the system, also passed the tests successfully. In this study, it is predicted that the wireless smart kit produced as a prototype can be used in many different fields, especially in the field of smart home technology.

**Keywords:** Smart home, Wireless kit, Smart kit, Smart home automation, Smart home technology.

## 1. Giriş

Akıllı ev sistemi, aydınlatma, ısıtma gibi alet ve sistemlerin uzaktan izlenmesini ve yönetilmesini sağlamak için bir ağ ile birbirine bağlı cihazların kullanıldığı evler için kullanılan bir terimdir. Akıllı ev, ev sahiplerine konfor, güvenlik, enerji verimliliği (düşük işletme maliyeti) ve rahatlık sağlayan bir sistemdir. Akıllı ev, birbirleriyle iletişim kurabilen ve içinde birbirleriyle iletişim kurabilen aletleri, aydınlatma, ısıtma, klima, TV'ler, bilgisayarlar, eğlence ses ve video sistemleri, güvenlik ve kamera sistemlerini içeren bir konutu tanımlamak için yaygın kullanılan terimdir. Evdeki herhangi bir odadan dünyanın herhangi bir yerinden uzaktan telefon ya da internet aracılığıyla bir zaman çizelgesi ile uzaktan kontrol edilebilir. Akıllı ürünlerin kurulması, eve ve ev sahiplerine çeşitli avantajlar sağlar. Teknoloji ve kişisel bilgisayar uygulamalarının bize, son 30 yılda kazandırdığı faydalar zaman, para ve enerjiden tasarruf sağlamasıdır. Sistem değişen bir ailenin ihtiyaçlarını karşılamak için zaman geçtikçe büyüyebilir. Bu ürünlerin tamamı, çeşitli üreticilerin arasından seçilebilir; pahalı bir eskime veya rekabetçi olmayan fiyatlandırma önlenir. Akıllı bir evin ortaya çıkan önemli bir özelliği, dünyanın sınırlı kaynaklarının korunmasıdır. Aydınlatma, elektrikli cihazlar, sulama kontrolü ve kullanım izleme yoluyla tasarruf artırmak için ev aletleri ile entegre ev denetleyicilerinden yararlanarak evlerini gerçekten akıllı hale getirebilme yeteneğinin giderek daha fazla insan tarafından farkına varılıyor. Çoğu ev denetleyicisi, bağlı tüm aygıtlar tarafından kullanımı hesaplar ve kaydeder, böylece ev sahibine gerekli değişiklikleri yapma bilgisi veren yerleşik izleme sistemlerine sahiptir. Bu sistemler internette dünyanın herhangi bir yerinden erişilebilir; böylece ev sahibi her zaman sistemi ayarlayabilir. Akıllı ev, ev teknolojileri endüstrinin birçok alanında kullanılan kontrol sistemlerinin gündelik hayata uyarlanması; ev otomasyonu da, bu teknolojilerin kişiye özel ihtiyaç ve isteklerine uygulanmasıdır [1-3].

Akıllı Ev fikri ilk olarak 1980'lerin başında ortaya çıkmıştır. İlk uygulamalarda, sıradan her hangi bir fiziksel engeli olmayan insanların ev konforu düşünülmüştü. Üreticiler, bir sistemi bütününe entegre etmeyi amaçlamamışlardı. Ancak, bireysel olarak kontrol edilebilecek birçok ürün çeşidi ortaya çıktı (enerji kontrol ünitesi, güvenlik sistemi, ışık kontrolcüsü, v.s.). Günümüzde ise, ev teknolojileri, bizlerin hiç de yabancı olmadığı bir konu haline gelmiştir. Mikserler, kahve makineleri ve mutfak robotları, televizyonlar, müzik setleri, DVD oynatıcılar, videolar; buzdolapları, çamaşır ve bulaşık makineleri, otomatik garaj kapıları, ışık seviyesi ayarlanabilir lambalar, telsiz telefonlar, elektrik süpürgeleri ve daha bunlar gibi birçok cihaz ile hayatımızın ayrılmaz bir parçası olmuştur. Daha sonraları bu cihazlar, yine gelişen teknolojiyle hayatlarımızı kolaylaştırmak için birçok değişim geçirdi; televizyonlar, müzik setleri ve hatta garaj kapıları için uzaktan kumandalar; kahve makineleri için zamanlayıcılar, kullanıcıya birçok seçenek sunan çamaşır ve bulaşık makineleri, buzdolapları geliştirildi. Bu sürecin bir sonraki adımı, tüm evin tek bir noktadan kontrol edilmesine imkân veren ve programlama imkânlarıyla bu kontrolü kendiliğinden sağlayan ev otomasyon teknolojilerini tüketicilerin hizmetine sunmaktadır. Akıllı ev sistemleri, bilgisayar ve iletişim sistemlerinin oldukça gelişmiş olması ile günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle veri iletiminin kablosuz olarak yapılması, kablolu iletişimin zorluklarından kaynaklanan problemleri ortadan kaldırmaktadır. Mevcut akıllı ev otomasyonlarının sisteme entegre edilmesi için kablolu alt yapı oluşturulmalıdır. Bu yeni yapılacak yapılarda sürecin başında ve yapının, alt yapıyı kurmaya müsait olmasıyla sağlanabilir. Ancak mevcut yapılarda bu alt yapıyı oluşturmak oldukça maliyetlidir [4-7].

Programlanmaya elverişli bir ev otomasyon sistemi, aşağıdaki örneklerde bahsedilen kontrollerden hepsini, daha fazlasını veya bazılarını gerçekleştirebilir.

- Sabah uyandıığımızda, ayarladığımız saatte, panjurlarımız istediğiniz kadar açılabilir. Odalar istediğiniz sıcaklığa getirilir. Sabah çayınız, kahveniz, müziğiniz, haberleriniz istediğiniz saatte hazırlanabilir. Balkonunuzdaki veya bahçenizdeki tente güneş ışınlarına göre açılıp, rüzgâr şiddeti arttığında kapanır.
- Biz yokken evimiz ayarladığımız sıcaklıkta kalır. İstersek telefon veya internet üzerinden sıcaklığı değiştirebiliriz. Biz dışarıdayken evimiz boşa enerji harcamaz.
- Işık sensörü ile güneşin batışı algılanır ve perdelerin kapanması, evde istediğiniz ışıkların açılması sağlanır.

- Alarm harekete geçmişse, hareket sensörü ile güvenlik ışıklarının yanması ve alarmın tetiklenmesi sağlanır.
- Uzun seyahatlerimizde panjur ve pencereler açılarak ev güneşlendirilir veya havalandırılır, bahçe sulama sistemi çalıştırılır, akşam belli saatlerde ışıkları yakılarak evde birilerinin olduğu izlenimi verilebilir.
- Biz evimizde değilken ya da uyurken alarm sistemleri kendiliğinden aktif konuma geçer ve evimiz koruma altına alınır. Hırsız girmesi durumunda kameralar kayıta geçer, alarm sistemi, ses ile ya da ışıkları açarak uyarır ve polis merkezini telefon ile arayarak otomatik mesaj gönderir. Yangın durumunda, evdeyse iç sirenle dışarıdaysak bizi telefonla arayarak uyarır, itfaiyeyi arar, gaz vanalarını ve havalandırma sistemini kapatır, belirli bölgelerde ışıkları yakarak evden çıkışımıza yardımcı olur.
- Duman sensörü ile yangın algılanır ve alarm çalışır, bize telefonla bilgi verilir.
- Geceleyin ışıklar bizim bulunduğunuz yerlerde otomatik olarak yakılır olmadığımız bölgelerde ise söndürülür.
- Bahçedeki çimlerin yağmur durumuna göre, belirli aralıklarla sulanması sağlanır.
- Tek bir komutla, perdeleri indirip, ışıkları kısım, mısır patlatma makinesini çalıştırıp, telefonu sessiz konuma alıp DVD oynatıcısını ve Televizyonu açarak ev sinema keyfi yaşatır.
- Telefonla verilen komutlarla ev içinde mümkün olan tüm kontrolleri gerçekleştirir.
- Çocuklar okuldan eve geldiğinde bizi telefonla arayıp haber verebilir.
- Evdeki cihazlar ve ışıklar uzaktan kumandayla kontrol edilebilir.
- Evdeki tüm lambaların ışık seviyesi ayarlanabilir.
- Günün belirli bir saatinde veya istenildiği anda bizi ya da çocuklarımızı uyandırır.
- Çocukların televizyonunu her gün akşam belirli bir saatte kapatabilir.
- Telefon çaldığında televizyon veya müzik setinin sesini kapatabilir.
- Telsiz telefonumuzu evi tamamen kontrol edebilecek bir kumandaya dönüştürür. Hareketi kısıtlı kişiler, uzaktan kumandayla çevrelerini çok daha rahat kontrol edebilir ve gerektiğinde yardım çağırabilirler.
- Şüpheli bir durumda evimizdeki iç ve dış tüm ışıklar tek düğme ile açılabilir.
- Çamaşır makinesi gibi fazla elektrik tüketen cihazların, akıllı sayaçlarla uyumlu olarak, indirimli saatlerde çalışması sağlanabilir.
- Lambaları tam parlaklıkları yerine daha düşük (%90) parlaklıkta yakarak, ampullerin ömrünü arttırır ve de enerji tüketimlerini %30 oranında azaltır.

Bu çalışmada akıllı ev sistemlerinde kullanılacak Kablosuz akıllı kit geliştirilmiştir. Geliştirilen kablosuz akıllı kit ile veri iletimi, kablosuz iletişim modülleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Böylelikle akıllı ev otomasyonuna geçecek yapılar için alt yapı oluşturulmayacak, bundan kaynaklanan tadilat ve dekorasyon masrafları da ortaya çıkmayacaktır. Ayrıca kablosuz akıllı kit oldukça ekonomik olarak tüketiciye ulaşmış olacaktır. Sistem kullanımı ve kurulumu bakımından oldukça kolay olup herkes tarafından mevcut siteme montajı yapılabilecektir. Kablosuz akıllı kitin özellikleri aşağıda sıralanmıştır [8-13].

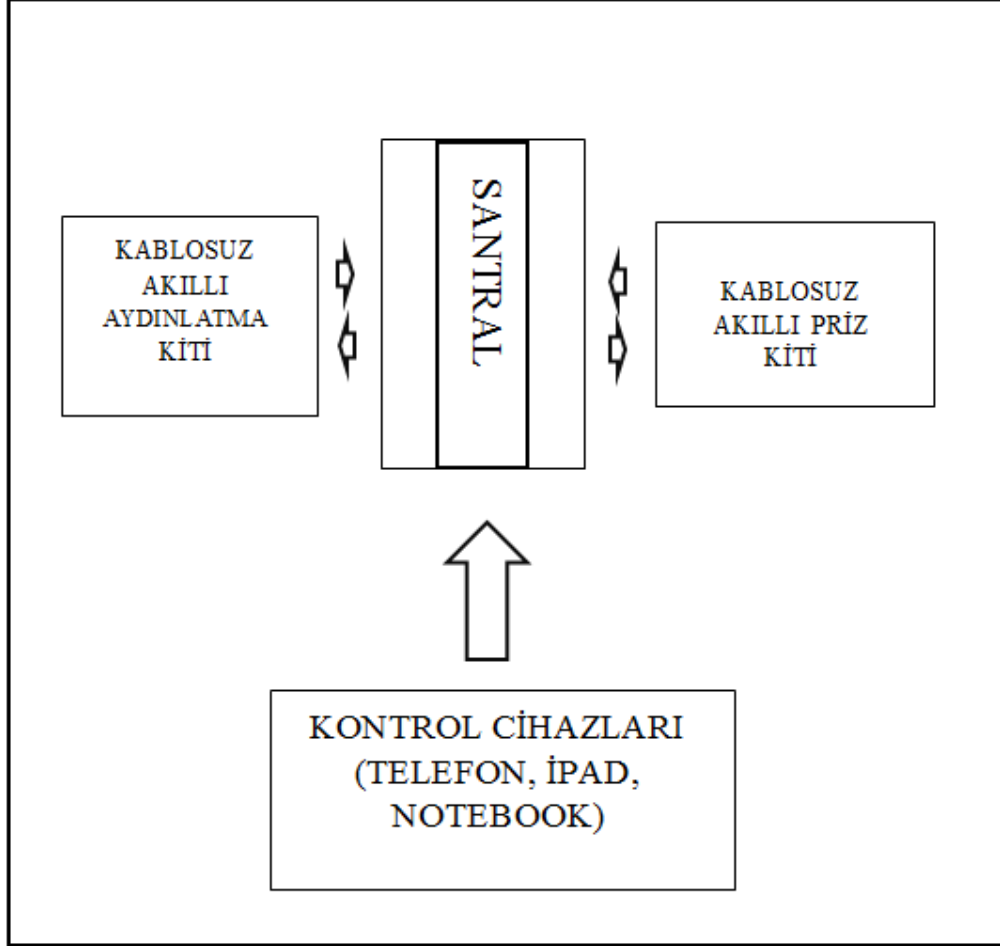
- Ekonomik: Kablosuz akıllı kit ile Akıllı ev otomasyonunuz en az maliyet ile oluşturulur. Mevcut sistemlerdeki alt yapı masraflarını ortadan kaldırarak sistemi daha ucuz kullanmanıza olanak sağlar. Yalnızca ihtiyacınız kadar akıllı kit kullanarak sistemden tasarruf edebilirsiniz.
- Kablosuz iletişim: Kablosuz akıllı kit, mevcut yapınızda herhangi bir alt yapıya gereksinim duymadan kurulabilir. Sistem kendi arasındaki veri iletimini tamamen kablosuz olarak wireless modülleri ile sağlamaktadır.
- Hızlı Kurulum: Kablosuz akıllı kitler, portatif yapıldığından yalnızca aydınlatma ve prizlere kullanıcı tarafından ara eleman olarak takılmaktadır. Bu özelliği ile kolay ve hızlı bir şekilde kurulumu entegre edilebilmektedir.
- Enerji tasarrufu: Kablosuz akıllı kit ile günlük yaşamımızda, evimizde, ofisimizde gereksiz yere tüketilen enerjiden tasarruf sağlanmaktadır. Sağlanan bu enerji tasarrufu sayesinde küresel ısınma, sera etkisi ve kaynak kullanımı azaltılarak refah seviyesi artırılmış olur.
- Güvenlik seviyesinin artırılması: Evimizde veya ofisimizde kurulu olan güvenlik sisteminin takibi, her noktadan kolaylıkla yapılabilmektedir. Evimizde olmadığımız zamanlarda evdeki ışıklar, perde ve panjur sistemi uzaktan kontrol ederek evdeymiş hissi verebilir. Bu şekilde ev, ofis, endüstriyel tesis için dış tehlikelere karşı üst düzey bir koruma sağlanmış olur.
- Yaşam standartının artırılması: Gelişen teknoloji sayesinde günlük yaşamımızın her anında neredeyse ihtiyaçlarımızın tamamını akıllı cihazlarla gidermekteyiz. Bu durum toplum için yaşam standartlarının artırılması ve akıllı cihazların giderek hayatımızın bir parçası haline gelmesine olanak sağlamaktadır.

Mevcut akıllı ev otomasyonlarından kablosuz olma özelliğiyle ayrılan sistemde aynı zamanda alarm sistemi ve giriş kapısının şifreyle açma özelliği bulunmaktadır. Cep telefonundan gönderilen komut bilgisi santral üzerinde bulunan ekran aracılığıyla kullanıcıya anlık olarak aktarılmaktadır. Bu çalışma sayesinde mevcut yapılara akıllı ev otomasyonunu, en az maliyet ile entegre ederek talebin artacağı düşünülmektedir. Benzer şekilde enerji israfının, kablosuz akıllı kitin sisteme entegre edilmesi ile önleneceği bir diğer avantaj olarak düşünülmektedir.

## 2. Sistemin Çalışma Prensibi

Çalışma kapsamında geliştirilen kablosuz akıllı kitler, Android yazılım sistemine uygun Arduino Mega ADK, Android yazılım tabanlı cep telefonu ve kablosuz iletişim modülleri ile birlikte çalışan Arduino UNO modeli kullanılarak tasarlanmıştır. İstenilen

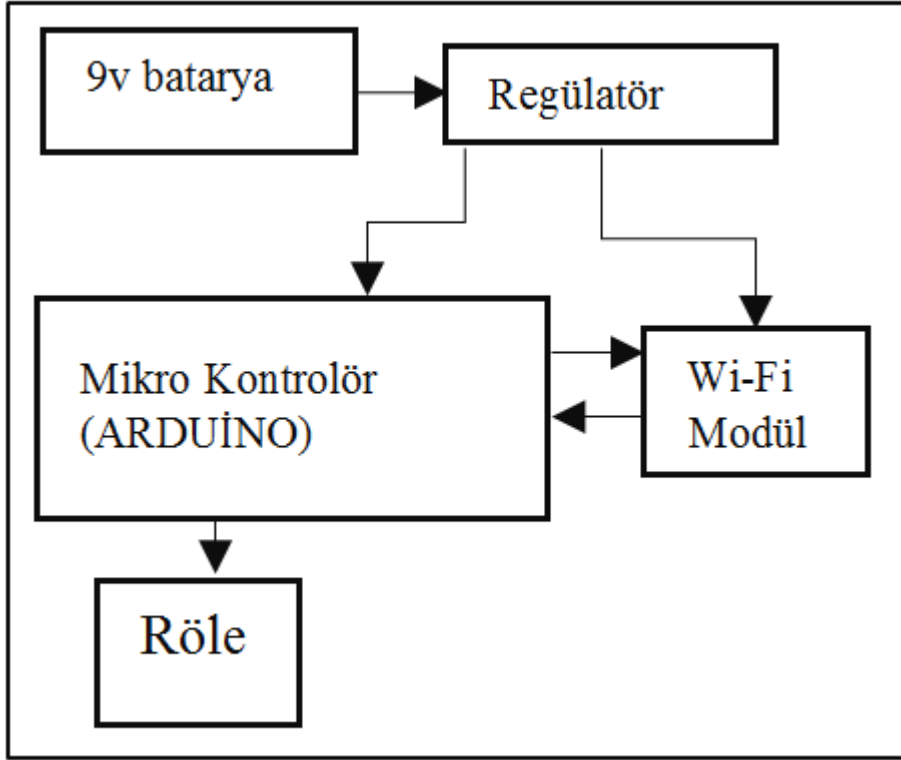
algoritmanın gerçekleşmesi için Arduino'dan yararlanılarak kablosuz akıllı kitler programlanmış ve çalışması düzenlenmiştir. Arduino Mega ADK'nın programlanması Arduino kitine ait Arduino IDE yazılım programıyla ve cep telefonu Android uygulamasını yapmak için de MIT AP İNVERTER kullanılarak sistem programlanması sağlanmıştır. Sistem basitçe santral ve kablosuz akıllı kitlerden oluşmaktadır. Kontrol etmek istediğimiz priz veya aydınlatmaya akıllı kitler takılmaktadır. Bu akıllı kitler santralden gelen bilgiye göre devreye girip veya devreden çıkarılmaktadır. Sistemin kontrolü ise android tabanlı mobil cihaz üzerinden sağlanmaktadır. Bu çalışmanın temel çalışma prensibi kablosuz olarak çalışması olsa da temelde farklı elemanların bir araya gelmesiyle çalışan bir sistem bulunmaktadır. Şekil 1'de tasarlanan sisteme ait blok diyagram verilmiştir.



Şekil 1. Sistemin genel çalışma prensibine ait blok diyagram

Sistemin tüm süreci santral tarafından yürütülmektedir. Sisteme entegre edilen kablosuz kitler santral ile veri alışverişi sağlamaktadırlar. Benzer şekilde akıllı ev otomasyonunun kontrol elemanları (Tablet, PC, Telefon, İpad vb.) santral üzerinden sisteme bağlanır. Kontrol cihazı ile santral arasında ki iletişim bluetooth modülü üzerinden sağlandığı gibi santral ile kablosuz akıllı kitler arasındaki veri alışverişi wireless modülleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Santrale entegre edilen wireless modülü verici görevi görmektedir. Sistemde her ne kadar kablosuz akıllı kitler ön planda olsa da santral üzerinde bulunan röle sistemleri sayesinde kablolu alt yapıya sahip olan yapılara da entegre edilebilir. Altyapısı mevcut olan yapıların santral ile elektriksel bağlantılarının yapılması durumunda kontrol cihazından kablolu sistemlerin de kontrolü sağlanabilmektedir. Şekil 2'de santral sistemine ait blok diagram gösterilmiştir.



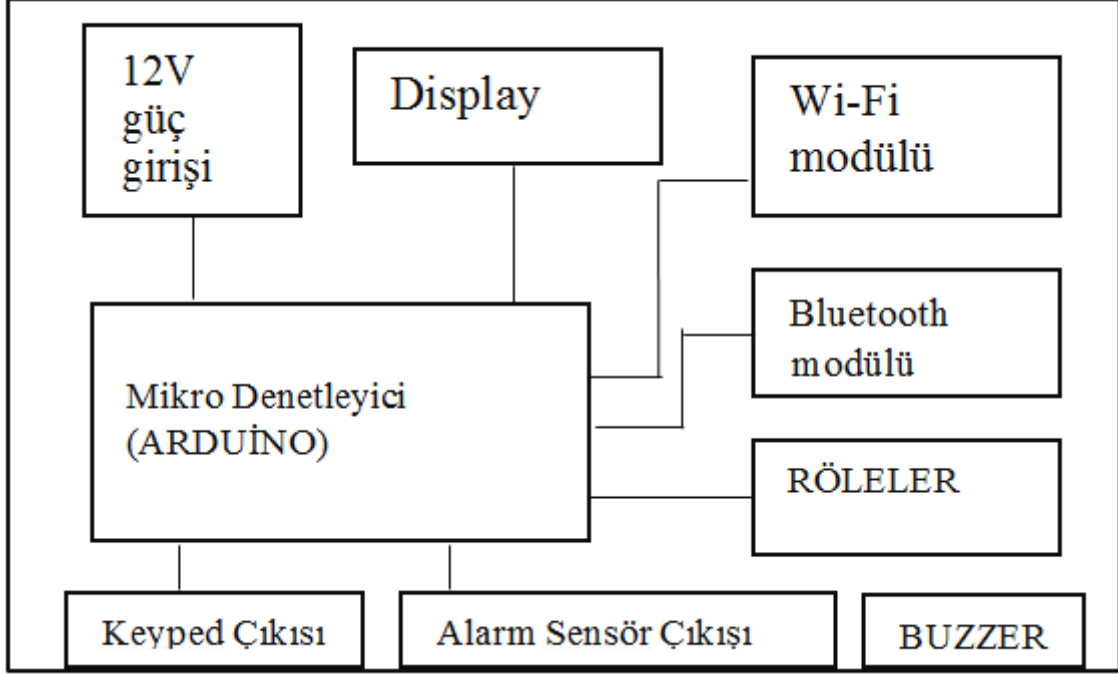


Şekil 2. Kablosuz akıllı kit blok diyagramı

Görüldüğü gibi şekil 2' de sistem de bulunan kablosuz akıllı kite ait blok diyagram verilmiştir. Santral iç tasarımı blok diyagramda bulunan elemanlar ile gerçekleştirilmiş olup birim elemanların bir araya getirilmesiyle gömülü bir sistem ortaya çıkarılmıştır. Santralde mikro denetleyici olarak Arduino Mega 2560 ADK kullanılmıştır. Sisteme ilişkin yazılım Arduino dili kullanılarak programlanmıştır. Santral içinde bulunan tüm elemanların santral ile doğrudan bağlantısı yapıp tasarlanmıştır. Santral içinde bulunan Wi-Fi modülü nrf24L01 ile sisteme entegre edilmiş olup santralde verici görevini üstlenmektedir. Kablosuz akıllı kitler ile iletişim nrf24L01 üzerinden sağlanmaktadır. Bluetooth modülü ise kontrol cihazı ile olan iletişimi sağlamak için HC-06 modülü kullanılarak sisteme entegre edilmiştir. Santralde bulunan röleler, santralin kablolu sistemlere de kolaylıkla entegre edilebilmesi için santrale dahil edilmiştir. Santral üzerinde bulunan keypad çıkışı dış kapıya bağlanan keypetten gelen şifre bilgisinin santrale aktarıldığı giriştir. Benzer şekilde alarm sensör çıkışı, pır sensörden alarm sistemi için gelen sinyallerin santrale aktarıldığı giriştir. Buzzer ise yazılmış olan yazılıma bağlı olarak alarm ikazında devreye girerek kullanıcıları haberdar etmektedir. Bunun yanı sıra santral üzerinden bulunan butonlardan biri sistemi resetlemeye yararken diğer buton alarm sisteminin ikaz vermesi durumunda kullanıcıların kontrolünde alarm sisteminin devreden çıkarılması için bulunmaktadır. Sistemde kontrol cihazı üzerinden gelen bilgilere bağlı olarak aktif edilen sistemlerin devrede olduğunu gösteren LED ışıklar bulunmaktadır. Tüm bu sistemlerin yanında kontrol cihazından gönderilen tüm komutlar ve santral çalışma durumu anlık olarak LCD ekran üzerinden kullanıcılarla paylaşılmaktadır. Santral ise enerji ihtiyacını 12w lık bir DC adaptör üzerinden karşılamaktadır.

Kablosuz akıllı kitler tasarlanan sistemde kablosuz iletişimin en önemli sonuçları olarak görülebilir. Kablosuz akıllı kitler temel olarak Android tabanlı kontrol cihazından (Tablet, İpad vb.) santrale gönderilen komuta göre santral tarafından kontrol edilerek bağlı bulunduğu sistemi devreye alıyor veya devre dışı bırakıyor. Tasarlanan kitler temel olarak; Kablosuz akıllı aydınlatma kiti ve kablosuz akıllı priz kiti olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. İki farklı kit tasarlanması, aydınlatma ve priz hattına bağlanacak yükler arasında yüksek oranda farklılıklar olması göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir. Kablosuz akıllı aydınlatma kitleri, kablosuz akıllı priz kitlerine göre daha az güç taşıyabilecek donanımlarla oluşturulup ekstra maliyetin önüne geçilmiştir. Kablosuz akıllı kitler kontrol edilmek istenen aydınlatma ve prize takılmaktadır. Örneğin; evimizde yalnızca birkaç aydınlatma grubunu veya birkaç elektrikli cihazı (Çamaşır makinesi, televizyon, ısıtıcılar, klima vb.) kontrol etmek istiyorsak sadece bu aydınlatmaların veya cihazların enerji almış olduğu noktalara (Priz veya avize) kablosuz akıllı kitlerin takılması yeterli olacaktır. Kablosuz akıllı kitlerin bu özelliği sistemin kullanılabilirliğini artırıp sistemden tasarruf etmemizi sağlamaktadır. Kablosuz akıllı aydınlatma ve priz kiti ile ilgili blok diyagram aşağıda Şekil 3'te gösterilmektedir. Şekil 3'te gösterildiği gibi kablosuz akıllı priz kiti temel olarak bir mikro kontrolör tarafından sistem akışı sağlanmaktadır. Kablosuz akıllı kitede bulunan mikro kontrolör yerine arduino UNO R3 kartı kullanılmıştır. Kit içinde bulunan Wireless modülü ise santral sisteminde kullanılan nrf24L01 modülü ile veri iletimini sağlayabilmesi için burada da nrf24L01 kablosuz iletişim modülü kullanılmıştır. Kablosuz akıllı priz kiti sahip olduğu wireless modülü santrale alıcı olarak tanıtılmıştır. Kontrol cihazı üzerinden kitin devreye girmesine ilişkin bir sinyal santrale gönderildiğinde, santral yalnızca belirlenen kitin alabileceği bir mesaj göndermektedir. Yani örneğin priz 1 açılış komutu kontrol cihazından santrale gönderildiğini varsayalım. Santral ise içinde bulunan yazılıma bağlı olarak sadece priz1 kitinin alabileceği üç haneli bir şifre göndermektedir. Alıcı olarak sisteme entegre edilen priz 1 kiti gelen şifrenin kendisine kaydedilen şifre ile uyumlu olması durumunda yapılacak işlem komutunu algılayıp aktif veya pasif olmaktadır. Her aydınlatma ve prize santralden aldığı bir şifresi bulunmaktadır. Bu durumda priz 1 çalıştırılmak istenirken gönderilen komut priz 2 alıcısı tarafından algılanıp devreye girmemektedir. Ancak ve ancak alıcı kitlerde

yazılımsal olarak belirtilen kendilerine özgü şifre doğruluğu teyit edildikten sonra alıcı kit kontrol edilebilir. Sisteme entegre etmiş olduğumuz wireless modülü sayesinde tek bir santrale 126 adet kablosuz akıllı aydınlatma ve priz kiti entegre edilebilmektedir. Wireless modülü açık alanda 150-175 m arasında bir çekim gücüne sahipken kapalı alanda 25-30 m aralığında aktif olarak çalışmaktadır. Arduino UNO R3 kartında bulunan yazılım tamamen santralle bir bütün olacak şekilde yazılmış olup sisteme özgü tasarlanmıştır. Portatif olarak tasarlanan akıllı kitler kullanılmaması durumunda üzerindeki buton aracılığıyla kapatılabilir ve sistemden devre dışı bırakılabilir. Kablosuz akıllı kitler enerji ihtiyacını ise içinde bulunan 9V luk bataryalardan karşılamaktadır. Kullanılmaması durumunda kit üzerinde bulunan kapama düğmesi aracılığıyla kapatılıp daha uzun ömürlü kullanımlar sağlanabilir.



Şekil 3. Santral blok diyagramı

### 3. Kontrol Mekanizması

Günümüzde kablosuz iletişim sistemlerinin bu denli gelişmesi sistemler üzerindeki kontrolü oldukça kolaylaştırmaktadır. Herhangi bir noktadan içinde bulunduğumuz kablosuz ağ sistemine bağlanarak dünyanın diğer ucundaki cihaz kontrol edebiliriz. Benzer şekilde ağ sisteminin bulunmadığı noktalarda bluetooth teknolojisi yardımıyla kablosuz olarak herhangi bir cihaza kontrol verisi gönderilebilir. Geliştirmiş olduğumuz sistemde santrale gönderilen veri android tabanlı bir cihazdan (tablet, ipad vb.) sağlanmaktadır. Veri iletimi ise Bluetooth modülü üzerinden gerçekleştirilmektedir. Kontrol cihazının, sisteme entegre edilen kitleri aktif veya pasif yapmasını sağlayacak verileri santrale göndermesi gerekmektedir. Bunun için android tabanlı bir uygulama geliştirilmiştir. Geliştirilen uygulamaya AKILLI EV MEGA adı verilmiştir. Uygulama web araçlarından MIT AP İnterort üzerinden oluşturulmuştur. Uygulama tamamen sisteme özgü tasarlanmış olup sistem bütünlüğünü oluşturmaktadır. Şekil 4'te android uygulamaya ait bir görsel bulunmaktadır. Uygulamaya ilk giriş yapıldığı anda bize herhangi bir Bluetooth aygıtı ile bağlantısının olmadığı bilgisini vermektedir. "BAĞLANTI YOK" yazısının hemen altında "Bluetooth Aygıtını Seç" seçeneği bulunmaktadır. Bu metin kutusuna tıkladığında karşımıza gelen HC-06 Bluetooth aygıtı seçilmektedir. Tabi bu aygıtın uygulamayı kullanmadan önce HC-06 ile eşleştirilmiş olup "1234" şifresinin (tanımlanan herhangi bir şifrenin) girilmiş olması gerekmektedir. Seçilen Bluetooth aygıtı ile "BAĞLANTI YOK" metin kutusu bağlantının kurulduğunu göstermek için "BAĞLANDI" şeklinde değişmektedir. Uygulama da temel olarak yapılması istenen komutlar kendi isimleriyle yazılmıştır. Ancak arka planda veriler, santrale karakter olarak gönderilmektedir. Örneğin uygulama üzerinde "LAMBA 1 AÇIK" butonuna tıklanması durumunda uygulama tarafından santrale 'C' karakteri gönderilmektedir. Santralde ise 'C' karakterinin gelmesine ilişkin koşul sağlanıp istenen komut yerine getiriliyor. Bu durumda LAMBA 1 açılıyor. Benzer şekilde tam tersi durumda da geçerlidir. "LAMBA 1 KAPAT" butonuna basılması durumunda santrale 'J' karakteri gönderiliyor. Santralde 'J' karakterine ilişkin koşul sağlandığında gerekli komut satırları gerçekleştiriliyor. Uygulama kullanımı açısından oldukça açık ve herkes tarafından rahatlıkla kullanılabilir şekilde tasarlanmıştır. Uygulama üzerinden akıllı ev otomasyonuna bağlı tüm kablosuz akıllı kitler ve kablolu sistemler aynı anda devre dışı bırakılabilmektedir. Alarm sistemi devreye alınıp iklimlendirme sistemleri kumanda edilebilmektedir.



Şekil 4. Android uygulamaya ait tasarım

#### 4. Kablosuz Akıllı Kitin Tasarımı, İmalatı ve Programlanması

Geliştirilen kablosuz akıllı kit (akıllı ev otomasyonu) hibrit özelliğe sahip olup hem kablolu sistemlerde hem de kablosuz olarak evimizdeki cihazları kontrol edebilme yeteneğine sahiptir. Kablosuz akıllı kitin şimdiye kadar bahsettiğimiz fonksiyonlarının yanı sıra eklenmesi planlanan birçok sistem mevcuttur. İlerleyen aşamalarda kablosuz akıllı kitlerin yalnızca kontrol cihazı üzerinden değil de priz kitlerinin kendi üzerinde bulunan bir buton veya aydınlatma kitlerinin aydınlatma anahtarından kontrol edilebilme özelliği sisteme entegre edilebilir. Benzer şekilde daha önceden evinizde kullanmış olduğunuz akıllı ev otomasyonunun arızası durumunda farklı bir ürün olarak kendi sisteminize entegre edilebilir özelliği eklenebilir. Sistem kontrolü, Bluetooth modülü üzerinden yapılabildiği gibi sistemin bağlı olduğu Wi-Fi üzerinden de yapılabilir. Bu durumda sistem kontrolü için yalnızca evin sınırlarında kalmayıp dünyanın her yerinden internet ağı yardımıyla sistem kontrolünü sağlayabilirsiniz. Santral üzerinde yapılan tüm işlem bilgisi anlık olarak LCD ekran üzerinden kullanıcı ile paylaşıldığı gibi kontrol cihazına da durum bilgisi anlık olarak aktarılabilir. Tüm bunların yanında sistemin kurulduğu yapının güvenlik sistemi elemanları kablosuz olarak tasarlanıp sinyaller kablosuz olarak santrale aktarılabilir. Bahçe sulama sistemi, yangın sistemi gibi sistemler akıllı ev otomasyonu bünyesine katılıp geliştirilebilir. Tüm bunların yanında akıllı ev otomasyonuna kişisel olarak hazırladığımız senaryolarınızı kaydedebilir, evinizde olmadığınız zamanlarda evdeymiş hissi vererek dış tehditlere karşı koruma sağlayabilirsiniz. Tasarlanan prototipler daha da küçültülüp kullanılabilirlik ve estetik tasarımı iyileştirilebilir. Akıllı ev otomasyonuna ait görsel Şekil 5'te ve Akıllı kitin çalışma mantığına ait görsel Şekil 6'da verilmiştir.

Santral ve kablosuz akıllı kitlerde bulunan mikro denetleyiciler yerine Arduino kartı kullanılarak programlanmıştır. Santralde bulunan arduino (MikroDenetleyici) ise bluetooth üzerinden gelen veriye bağlı olarak uygun kitlerin devreye alınıp ve devreden çıkarılmasını sağlayacak şekilde programlanmıştır. Santralde bulunan program standart arduino kütüphaneleri ve örnek çalışmalar dikkate alınarak sisteme özgü olarak gerçekleştirilmiştir. Benzer şekilde akıllı priz ve aydınlatma kitleri içinde bulunan program, santralden gelen veriyi alıp röleleri enerjileyerek bağlı bulunduğu sistemi (lamba, avize, çamaşır makinesi, buzdolabı, klima vb.) devreye alıp devreden çıkaracak şekilde yazılmıştır. Kontrol cihazı, santral ve kablosuz akıllı kitler ayrı ayrı gerçekleştirilen yazılımlar sayesinde bir bütün olarak tasarlanmıştır. Sistemin program akışı temel olarak üç kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda arduinoya bağlanan modül ve cihazların arduino bünyesinde oluşturulan standart kütüphaneleri, karakter, dizi ve değişkenlerin tanımlandığı kısımdır. İkinci kısım ise Arduino üzerinde bulunan analog ve dijital pinlerin hangi modda çalıştırılacağı ve pinlerin isimlendirmelerinin yapıldığı kısım olmakla birlikte kart üzerindeki tüm pinlerin ilk başlangıç durumunun belirtildiği kısımdır. Son

olarak üçüncü kısım ise asıl algoritmaların yer aldığı ve if, while, for gibi komutların işlendiği kısımdır. Program başlangıcında belirtilen değişkenler üçüncü kısımda belirtilen koşullarda kullanılarak yapılması istenen durum oluşturulur. Sistemde bulunan santrale bağlı nrfL01 modülü hem alıcı hemde verici olarak programlanabilmektedir. Bu durumda kullanılmış olduğu sistemde hem veri alıp hemde veri gönderebilmektedir. Santral üzerindeki nrf24L01 modülü verici olarak programlanmıştır. Kablolu akıllı kitlerde bulunan nrf24L01 ise alıcı olarak programlanmıştır. Bu durumda yalnızca santralden alıcılara doğru bir veri akışı söz konusudur. Santral ile kablosuz akıllı kitler arasındaki veri alışverişi birbirleriyle uyumlu olacak şekilde yazılımları yazılmıştır. Bunun yanında santralde yalnızca Bluetooth tarafından veri alacak şekilde yazılımı gerçekleştirilmiştir. Santral ve kablosuz akıllı kitler ayrı ayrı bir bütün oluşturacak şekilde tasarlanmış olup yazılımı sisteme özgü tasarlanmıştır.

Geliştirmiş olduğumuz Kablosuz Akıllı Kit, akıllı ev otomasyonu üzerine tasarlanmıştır. Sisteme verilen isim her ne kadar kablosuz akıllı kit olsa da temel de bir santral ve bu santrale bağlı birimler yönlendirilmektedir. Geliştirmiş olduğumuz akıllı ev otomasyonu geleneksel ev otomasyonlarından çok yönlü kullanımı ile ayrılmaktadır. Sistem tamamen hibrit olarak tasarlanmış olup hem kablolu sistemleri hem de kablosuz sistemleri kumanda edebilmektedir. Kontrol cihazına yüklediğimiz uygulama ile Bluetooth teknolojisinden yararlanılarak santral ile bağlantı sağlanmaktadır. Bu durumda herhangi bir ağ sistemine ihtiyaç duymadan santrale veri iletilmektedir. Sistemde tasarlanan portatif özellikli kablosuz akıllı kitler kumanda edilmek istenen aydınlatma ve elektronik cihazlara takıldığından ihtiyacımız kadar kullanılabilir ve sistemden tasarruf sağlayabilirsiniz. Kablosuz akıllı kitler ile santral arasında ki veri alışverişi tamamen kablosuz iletişim sistemleri ile yapıldığından sistem kurulumu için herhangi bir alt yapıya ihtiyaç duyulmamaktadır. Hibrit olarak geliştirilen sistem aynı zamanda altyapısı mevcut olan yapılara da entegre edilebilmektedir. Kontrol cihazından gelen verilere bağlı olarak devreye alınan cihazlar santral üzerinde bulunan ledlerin yanmasıyla kullanıcı ile paylaşmaktadır. Benzer şekilde santral üzerinde bulunan LCD ekran ile anlık durum bilgisi kullanıcılarla paylaşmaktadır.

Geliştirmiş olduğumuz sistem kuvvetli akımın kumanda sisteminde kullanıldığı gibi zayıf akım üzerinde de kullanılabilir. Sisteme özgü tasarlanan alarm sistemi ile evimizin güvenliğini üst seviyeye çıkarabiliriz. Sisteme entegre edilen pır sensörü alarm sisteminin devreye girmesiyle santrale, hareketin olup olmadığı bilgisini vermektedir. Eğer Pır sensörün kurulduğu bölgede herhangi bir hareket algılanırsa sensör santrale hareketin olduğuna dair sinyal göndererek santral de bulunan ikaz sisteminin devreye girmesini sağlamaktadır. Herhangi bir ikaz durumunda LCD ekrandan alarm bilgisi kullanıcılarla paylaşılıp santral üzerinde bulunan buton veya kontrol cihazı üzerinden alarm pasifleştirilebilmektedir.

Güvenlik sisteminin daha da geliştirilmesi üzerine sisteme eklenen keyped yapıya ait dış kapıya monte edilebilmektedir. Dış kapıya gelen kullanıcıların doğru şifreyi girmesi durumunda santrale komut gönderilmektedir. Santral ise gelen bu komuta bağlı olarak dış kapının açılmasını sağlamaktadır. Eğer şifre yanlış girilmişse kullanıcıdan tekrar doğru şifrenin girilmesi istenmektedir.

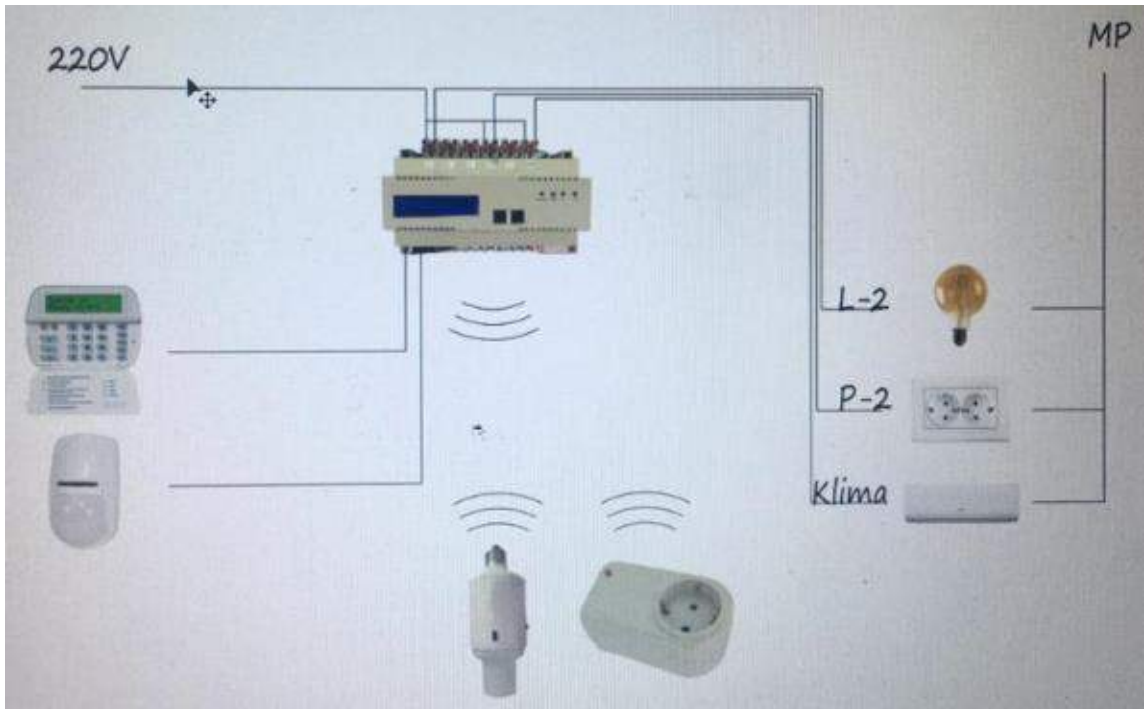


*Şekil 5. Akıllı ev otomasyonuna ait görsel [14]*





Şekil 6. Akıllı kitin çalışmasına ait görsel [15]



Şekil 7. Tasarlanan akıllı kit





Şekil 8. Prototip olarak üretilen akıllı kit sistemi ve ekipmanlar



Şekil 9. Prototip olarak üretilen akıllı kit sistemi

Bu çalışmada tasarlanan ve imal edilen prototip akıllı kit sistemi Şekil 8 ve Şekil 9’da görülmektedir.

## 5. Sonuçlar ve Tartışma

Akıllı ev otomasyonu gelişen teknolojinin bir ürünüdür. Günümüzde bir çok yeni yapıya entegre edilip elektrik enerjisinden tasarruf, güvenlik düzeyinin artırılması ve yaşam standartlarının artmasına olanak sağlamaktadır. Mevcut akıllı ev sistemlerinin yapılara entegre edilmesi için yeni bir alt yapı çalışması gerekmektedir üstelik bu oldukça maliyetlidir. Ayrıca sistemin kurulabilmesi için yeni bir alt yapı oluşturulmalıdır. Bu durumda sistemin kurulacağı yapıda alt yapının oluşturulması ile ekstra tadilat ve dekorasyon masrafları oluşmaktadır. Kullanıcı, enerji tasarrufu sağlamak ve güvenlik sistemini arttırmak istese de sistemin oldukça maliyetli olduğunu düşünerek geri çekilmektedir. Yeni oluşan yapılarda sistem alt yapısı kurularak akıllı ev otomasyonuna sahip olmaktadır. Ancak akıllı ev otomasyonunun zorunlu hale gelmesiyle mevcut yapıların tamamının dönüşümünün yapılması gerekecektir. Mevcut akıllı ev otomasyonlarının sisteme entegre edilmesi için gereken kablolu alt yapı oluşturulmalıdır. Bu yeni yapılacak yapılarda sürecin başında ve yapının, alt yapıyı kurmaya müsait olmasıyla sağlanabilir. Ancak mevcut yapılarda bu alt yapıyı oluşturmak oldukça maliyetlidir. Kablosuz akıllı kit ile veri iletimi, kablosuz iletişim modülleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Böylelikle akıllı ev otomasyonuna geçecek yapılar için alt yapı oluşturulmayacak bundan kaynaklanan tadilat ve dekorasyon masrafları da ortaya çıkmayacaktır. Kablosuz akıllı kit ile bu dönüşümleri en az masraf ve alt yapıya gerek kalmadan tamamen kablosuz iletişim sistemiyle uzaktan kontrol edecek sistem kurulabilir. Böylece tüketicinin, akıllı ev otomasyonuna talebi artırılmış ve akıllı ev otomasyonu, oldukça ekonomik bir şekilde sisteme entegre edilmiş olur. Bu çalışmada üretilen prototip kablosuz akıllı kit sistemi ile yapmak istediğimiz mevcut yapıların, akıllı ev otomasyonuna dönüşümünü kolaylaştırarak en az maliyet

ile sağlamaktır. Tasarlanan kitler aydınlatma ve priz kitleri olmak üzere iki ana kit olarak üretilmesi planlanmıştır. İki ayrı kit üretilmesinin sebebi; prizlerin aydınlatmalara göre daha fazla güç çekmesidir. Bu durumda priz kitlerinde kullanılacak olan röleler, aydınlatma kitlerine göre daha fazla akıma dayanıklı olmalıdır. Kurulacak olan sistemde tüm kontrol ve komutların oluşturulacağı bir santrale yer verilecektir. Kitler ile santral arasındaki veri iletimi tamamen kablosuz iletişim kullanılarak yapılacaktır. Kitler ile santral kablosuz veri alışverişi yapabildiği gibi kontrol cihazları da (telefon, ipad, notebook vb.) santral ile kablosuz olarak veri alışverişinde bulunacaktır. Sistemde bulunan santral, yapının (evin) dağıtım kutusuna montajı yapıp, sistemde bulunan tüm kitler ile kablosuz olarak iletişime geçecektir. Sistemde kurulacak olan kitler ise uzaktan kontrol edilmek istenen aydınlatma ve priz sortilerine montajı yapılacaktır. Örneğin evinizde bulunan klima hattına, kablosuz akıllı priz kitinin montajı yapıldığını varsayalım. Bu durumda yerinizden bile kalkmadan veya dünyanın neresinde bulunursanız bunun için tek tuş ile klimanızı çalıştırabilirsiniz. Benzer şekilde evinizdeki aydınlatmalara, kablosuz aydınlatma kitinin montajı yapıldığını varsayalım. Yine istediğiniz noktadan tek tuş ile aydınlatmalarınızı kontrol edebilirsiniz. Sistemde kullanılmak üzere tasarlanan kablosuz akıllı kitler uzak kumanda sistemine entegre olduğu gibi üzerinde bulunan (on-off) tuşu ile santralle bağlantısını kesip manuel olarak kullanılabilir. Kablosuz akıllı aydınlatma kitlerinin montajının yapıldığı aydınlatmalar manuel olarak anahtardan aç-kapa yapabildiğiniz gibi kontrol cihazlarınızdan da (telefon, bilgisayar, ipad vb.) açma ve kapama işlemi sürdürülebilir. Kablosuz akıllı kitler ekstra bir güç kaynağına gerek duymadan üzerine takılacak olan 9V pil ile enerji ihtiyacını karşılayacaktır. Tüm bu sistemler veri iletimini internet üzerinden kontrol cihazlarına aktarabildiği gibi evin içindeyken de radyo frekansları kullanılarak oldukça yüksek çekim alanında kontrol yapılabilir. Sistem her ne kadar ev için tasarlanmış olsa da uzaktan bir kontrol mekanizması oluşturulduğundan farklı alanlarda da kurulum yapılabilir.

Geliştirilen kablosuz akıllı kit hibrit özelliğe sahip olup hem kablolu sistemlerde hem de kablosuz olarak evimizdeki cihazları kontrol edebilme yeteneğine sahiptir. Kablosuz akıllı kitin şimdiye kadar bahsedilen fonksiyonlarının yanı sıra eklenmesi planlanan birçok sistem mevcuttur. İlerleyen aşamalarda kablosuz akıllı kitlerin yalnızca kontrol cihazı üzerinden değil de priz kitlerinin kendi üzerinde bulunan bir buton veya aydınlatma kitlerinin aydınlatma anahtarından kontrol edilebilme özelliği sisteme entegre edilebilir. Benzer şekilde daha önceden evinizde kullanmış olduğunuz akıllı ev otomasyonunun arızası durumunda farklı bir ürün olarak kendi sisteminize entegre edilebilir özelliği eklenebilir. Sistem kontrolü, bluetooth modülü üzerinden yapılabildiği gibi sistemin bağlı olduğu Wi-Fi üzerinden de yapılabilir. Bu durumda sistem kontrolü için yalnızca evin sınırlarında kalmayıp dünyanın her yerinden internet ağı yardımıyla sistem kontrolünü sağlayabilirsiniz. Santral üzerinde yapılan tüm işlem bilgisi anlık olarak LCD ekran üzerinden kullanıcı ile paylaşıldığı gibi kontrol cihazına da durum bilgisi anlık olarak aktarılabilir. Tüm bunların yanında sistemin kurulduğu yapının güvenlik sistemi elemanları kablosuz olarak tasarlanıp sinyaller kablosuz olarak santrale aktarılabilir. Bahçe sulama sistemi, yangın sistemi gibi sistemler akıllı ev otomasyonu bünyesine katılıp geliştirilebilir. Tüm bunların yanında akıllı ev otomasyonuna kişisel olarak hazırladığınız senaryolarınızı kaydedebilir, evinizde olmadığınız zamanlarda evdeymiş hissi vererek dış tehditlere karşı koruma sağlayabilirsiniz. Tasarlanan prototipler daha da küçültülüp kullanılabilirlik ve estetik tasarımı iyileştirilebilir.

Çalışmanın ilerleyen akademik ve sanayi çalışmalarında geliştirilmeye açık bir sistem olduğu düşünülmektedir. Bu çalışma kapsamında yapılan çalışmalar tamamlanmış olup prototip hazırlanmıştır. Hazırlanan prototip mevcut bir yapı içinde bulunan aydınlatma ve priz hatlarına takılıp testi sağlanmıştır. Test sonucuna göre 150 m<sup>2</sup> ile 200 m<sup>2</sup> arasında ki bir evde kablosuz akıllı kit ile santral arasındaki veri iletimi sorunsuz olarak sağlanmaktadır. Açık alanda ise 150 m ile 200 m arasında bir çekim gücü ile veri iletimi sağlanmaktadır. Benzer şekilde sistemin hibrit olma özelliği ile kablolu sistemlere de entegre edilip test edilmiştir. Her iki durumda da test sonuçları başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiş olup kullanılabilir duruma getirilmiştir. Sistemde bulunan güvenlik sistemlerinden alarm sistemi de testlerden başarıyla geçmiştir. Kapalı alanda 10 m<sup>2</sup> alan içinde tek bir pır sensörden hareket bilgisi santrale aktarılabilir. Gelen bilgiye göre santral ikaz verip kullanıcıya uyarı mesajı vermektedir. Giriş kapılarını açmak için sisteme eklenen keypad ise bağlı bulunduğu kapı devresini doğru şifrenin girilmesi durumunda açmış olup kontrol cihazı ile santral arasındaki bağlantı yaklaşık 25 m boyunca korunabilmektedir.

Genel olarak akıllı ev otomasyonunun istenilen ve uygulanılan fonksiyonlarının tamamının uygun şekilde çalıştığı gözlenmiştir. Bundan sonraki süreçte kablosuz akıllı kitlerden oluşan hibrit bir sistem olan akıllı ev otomasyonunun geleceğini tasarlamaya ve daha iyi bir sistem oluşturmak için çalışmaların devam ettirilmesi hedeflenmektedir.

Ayrıca kablosuz akıllı kit oldukça ekonomik olarak tüketiciye ulaşmış olması hedeflenmektedir. Sistem kullanımı ve kurulumu bakımından oldukça kolay olup herkes tarafından mevcut sisteme montajı yapılabilir. Bu çalışmada üretilen prototip kablosuz akıllı kit ile mevcut yapılara akıllı ev otomasyonunu, en az maliyet ile entegre edip bu sisteme karşı talebi arttıracak bir ürün olması düşünülmektedir. Benzer şekilde enerji israfının, kablosuz akıllı kitin sisteme entegre edilmesi ile önleneceği bir diğer amaç olarak ifade edilebilir.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen kablosuz akıllı kit ile akıllı ev teknolojisinin mevcut fonksiyonlarının yanında daha birçok fonksiyon eklenebilir ve sistemin kullanılabilirliği artırılabilir. Bu yönüyle geliştirilmeye oldukça açık bir sistem olmaktadır. Kablosuz akıllı kit çalışmasının ülkemiz için yeni gelir kapısı ve yeni yatırım merkezlerinin kurulmasına fayda sağlaması da ayrı bir amaç olarak ifade edilebilir.

## **Teşekkür**

Bu makalenin yazarları, verilen destekten dolayı Siirt Üniversitesi Otomasyon ve Kontrol Sistemleri Laboratuvar çalışanlarına teşekkür ederler.

## 6. Kaynakça

- [1] Suh, C., & Ko, Y. B. (2008). Design and implementation of intelligent home control systems based on active sensor networks. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 54(3), 1177-1184.
- [2] David, A. B. (2013). U.S. Patent No. 8, 527, 278. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [3] Sixsmith, A. J. (2000). An evaluation of an intelligent home monitoring system. *Journal of telemedicine and telecare*, 6(2), 63-72.
- [4] Stefanov, D. H., Bien, Z., & Bang, W. C. (2004). The smart house for older persons and persons with physical disabilities: structure, technology arrangements, and perspectives. *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering*, 12(2), 228-250.
- [5] Douligeris, C. (1993). Intelligent home systems. *IEEE Communications Magazine*, 31(10), 52-61.
- [6] Bayram, U. (2006). Akıllı Ev Otomasyonu, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi Bilgisayar Bölümü, Bilgisayar Anabilim Dalı.
- [7] Cincirop, B. (2009). GSM Kontrollü Akıllı Ev Otomasyonu, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [8] Ali, M. Q. (2018). Akıllı ev otomasyonu için güvenlik kamerası ve bulanık mantık tabanlı yangın algılama ve söndürme sistemi tasarımı ve gerçekleştirilmesi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [9] Kongaz, H. (2007). Akıllı Ev Otomasyonunun Mikrodenetleyici ile Gerçekleştirilmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [10] Robles, R. J., & Kim, T. H. (2010). Applications, systems and methods in smart home technology: *A. Int. Journal of Advanced Science And Technology*, 15.
- [11] Zhou, B., Li, W., Chan, K. W., Cao, Y., Kuang, Y., Liu, X., & Wang, X. (2016). Smart home energy management systems: Concept, configurations, and scheduling strategies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 61, 30-40.
- [12] Çubukçu, A., Kuncan, M., Kaplan, K., & Ertunc, H. M. (2015, May). Development of a voice-controlled home automation using Zigbee module. *IEEE in 2015 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)* (pp. 1801-1804).
- [13] Han, D. M., & Lim, J. H. (2010). Design and implementation of smart home energy management systems based on zigbee. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 56(3), 1417-1425.
- [14] <https://onedio.com/haber/kariyerinize-dogru-yon-verin-gelecegi-insa-edecek-yarınların-5-teknik-meslegi-740036>, (ziyaret tarihi: 01.10.2019)
- [15] <https://www.xenonsmart.com/neden-akilli-ev-almaliyim/>, (ziyaret tarihi: 01.10.2019)



# Diyarbakır İli Bazı Kiraz Bahçelerinde Bulunan Zararlı ve Faydalı böcek Türleri ile Bazı Önemli Zararlı Türlerin Doğada Görülme Zamanı

Mehmet Kaplan<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Dicle Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Diyarbakır, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2495-8075)

(İlk Geliş Tarihi 20 Eylül 2019 ve Kabul Tarihi 22 Ekim 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.622720)

**ATIF/REFERENCE:** Kaplan, M. (2019). Diyarbakır İli Bazı Kiraz Bahçelerinde Bulunan Zararlı ve Faydalı böcek Türleri ile Bazı Önemli Zararlı Türlerin Doğada Görülme Zamanı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 283-289.

## Öz

Bu çalışma, 2015-2016 yılları arasında Diyarbakır ili kiraz alanlarındaki fitofag ve faydalı türler ile bazı önemlilerin doğada görülme zamanı belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Örneklemelerde kiraz bahçelerinde ağaç dallarına yapılan darbe yöntemi yanı sıra türlere özgü eşeysel çekici tuzaklar yanı sıra çukur ve şaraplı besi tuzakları kullanılmıştır.

Çalışma sonuçlarına göre, kiraz bahçelerinde fitofag türlerden 28 böcek ve 1 akar ile genel predatör ve parazitoidlerden olan 14 faydalı böcek türü saptanmıştır. Saptanan zararlı türlerden *Archips rosanus* L., *Rhagoletis cerasi* Linnaeus, *Tropinota hirta* Poda., *Stephanitis pyri* Fabricius, *Myzus cerasi* F., *Capnodis tenebrionis* L., *Scolytus rugulosus* Müller ve *Tetranychus urticae* Koch.'un ekonomik yönden zararlı olduğu gözlenmiştir. Bunun birlikte *Coccinella septempunctata* L., *Synharmonia conglobata* L., *Scymnus pallipediformis* Gunther, *Metasyrphus corollae* Fabricius ve *Chrysoperla carnea* (Stephens)'nin Diyarbakır ili Kiraz ağaçlarında en fazla görülen yararlı türler olarak belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kiraz zararlıları, Doğal düşmanlar, Survey, Diyarbakır.

## Phytophagous and beneficial species on some cherry orchards, time to see some important species in nature in Diyarbakır Province

### Abstract

The study was conducted between 2015 and 2016 years, with the purpose of determining the phytophage and beneficial species in cherry orchards and to determine of occurrence time in nature some of important pests in Diyarbakır provinces.

At the end of the study, 28 insects and 1 mite species were found as phytophagous and 14 predator and 1 parasitoid species were found as beneficial species. Determined pests, *Archips rosanus* L., *Rhagoletis cerasi* Linnaeus, *Tropinota hirta* Poda., *Stephanitis pyri* Fabricius, *Myzus cerasi* F., *Capnodis tenebrionis* L., *Scolytus rugulosus* Müller and *Tetranychus urticae* Koch were also observed. In addition, the predators, *Coccinella septempunctata* L., *Synharmonia conglobata* L., *Scymnus pallipediformis* Gunther, *Metasyrphus corollae* Fabricius and *Chrysoperla carnea* Stephens being the most encountered were observed in these provinces as well.

**Key words:** Cherry pests, Natural enemies, Survey, Diyarbakır,

\* Sorumlu Yazar: Dicle Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Diyarbakır, Türkiye, ORCID: 0000-0002-2495-8075, [mehmetkaplan1971@hotmail.com](mailto:mehmetkaplan1971@hotmail.com)

## 1. Giriş

Kiraz, lezzetli bir meyve olmasının yanında, besin değeri çok yüksek olan bir meyve olması yanısıra Ayrıca, gerek üretim ve gerekse pazarlama aşamasında yoğun işgücünün kullanımı ile geniş istihdam olanakları yaratması, dış satımda önemli döviz getirisi nedeniyle ülke ekonomisi bakımından büyük önem taşımaktadır (Kaplan, 2019). Ülkemiz dünyada kiraz üretiminde ve ihracatında önemli yere sahiptir.

Anadolu coğrafyasında bahçe kültürü içerisinde önemli olan bir meyve olan kirazda (*Puronus avium* L.) en eski kültür alanlarından biridir (Ülkümen, 1973). Kirazın anayurdu Hazar Denizi, Güney Kafkasya ve Kuzeydoğu Anadolu arasındaki bölge olduğu ve bu gen merkezlerinden doğuya ve batıya dünya üzerinde geniş bir alana yayılmıştır (Özbek, 1978).

Dünyada kiraz üretiminde ve ihracatında önemli yere sahip olan Türkiye'nin, kiraz ihracatı 1985 yılından sonra başlamıştır. 2018 yılında 639.564 ton kiraz üretimiyle dünya birincisidir. Ülkemiz, 2018 yılında miktar olarak yaklaşık 70 bin ton, değer olarak ise 162 milyon dolarlık ihracat gerçekleştirmiştir. Ülkemiz Kiraz dış satımında Avrupa Birliği ülkeleri önemli yer tutmakta olup, 15'in üzerinde ülkeye kiraz ihraç edilmektedir (Anonim, 2018). Diyarbakır ilinde 2018 yılında 353 ton, kiraz üretimi yapılmıştır (Anonim, 2019). Bölgede kiraz üretim miktarı nispeten düşük gibi görünse de bölgede yetiştiriciliği yapılan kirazın erkenci olması ve dolayısı ile ekonomik getirisinin yüksek olması kirazı bölge için önemli kılmaktadır.

Ülkemizde Kirazda zararlı olan zararlı böcekler ve doğal düşmanları üzerine Aysu,1955; Nizamoğlu, 1957; Gökmen, 1965; Yıldırım, 1957; Ulu,1983; Doğanlar, 1987; Ulu ve Önuçar, 1989, Uzun,1990; Özbek ve ark.,1996; Erol ve Yaşar, 1996. Özder, 1999; Çınar ve ark., 2004, Ertop ve Özpınar, 2011; Özdem ve ark., 2017; Kaplan ve Alaserhat, 2018, Kaplan, 2019 gibi bir çok sayıda araştırmacı çalışma yürütmüş ve kirazda 70' in üzerinde zararlı böcek bildirmişlerdir. Bunlardan bazıları (*Arcips rosanus*, L. *Capnodis* sp., *Scolytus rugulosus* Müller ve *Tetranychus urticae* Koch) çiçek ve tomurcuklarda bazıları da yapraklarda hem beslenmesi hem de bükmesi ve ağacın kök, gövde dalların içinde beslenerek önemli zararlara neden olduklarını kaydetmişlerdir.

Çalışmanın yürütüldüğü Diyarbakır ilinde kiraz bahçelerinde üretimi sınırlayan önemli etkenlerden birisi bitki koruma sorunlarıdır. Nitekim yapılan araştırmalar ve bölge illerindeki ilgili tarım kuruluşlardan ve üreticilerden edinilen bilgiler sonucu, kiraz zararlılarının bölgede önemli oranda zarara sebep olduğu ve bu nedenle pesitisit kullanımının giderek arttığı gözlemlenmiştir. Bu zararlı böcek ve akar türleri (*Capnodis* sp., *Archips* sp., ve *T. urticae* ) bölgede kiraz bahçelerinde ekonomik yönden önemli oranda zarara neden olduğu gözlemlenmiştir. Son zamanlarda bölgede meyve bahçelerinde zararlı organizma türleri ile mücadelede gelişen güzel pestisit kullanımının artmasıyla canlılar var olan doğal dengenin bozulmasına neden olacak ki, buda ileriki yıllarda zararlıların salgın yapma ihtimalini arttıracaktır. Mevcut olan bu olumsuz iyileştirilmesi hem çevre ve insan sağlığı hem de kaliteli ürünün piyasaya sunulması açısından önemlidir. Bu nedenle sürdürülebilir tarımsal üretim ve kalkınmayı sağlamak için entegre mücadele sisteminin uygulanması gerekir.

Kiraz bahçelerinde yapılan bu çalışmada zararlı türleri ile etkili bir mücadele yapmak için de öncelikle türlerin belirlenmesi, doğada görülme zamanı ve zarar şekli ortaya konulmuştur. Çalışma sonucunda kiraz ağaçlarında tespit edilen zararlı türlerin ve önemli türlerin doğada görülme zamanının belirlenmesiyle gerek bölgede gerekse de ülkemizde kiraz üretimi ile uğraşan üreticiler ve teknik elemanlar için zararlı ile mücadelede temel veriler elde edilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Çalışmanın ana materyalini Diyarbakır (GAP ULUSLARARASI TARIMSAL ARAŞTIRMA VE EĞİTİM MERKEZİ ve ZİRAİ MÜCADELE ARAŞTIRMA ENSTİTÜSÜ deneme bahçesi) ili kiraz bahçeleri ile buralardan toplanan Tortricidae familyasına ait böcek türlerin yumurta, larva, pupa ve erginlerine ait örnekler, bunların parazitoit ve predatörleri, çukur tuzak, eşeyssel çekici tuzaklar, şaraplı besi tuzağı ile çeşitli laboratuvar malzemeleri oluşturmuştur. Kiraz sineği (*Rhagoletis cerasi* L.) için 15x20 cm boyutlarında Rebell sarı renkli görsel yapışkan tuzak + Amonyak tablet kullanılmıştır (Özdem, 2001). Yaprakbüktenler ve diğer bazı türlerin erginlerini yakalamak için besin tuzakları (100 ml şarap, 900 ml su, 25 gr seker ve 25 ml sirke) kullanılmıştır. (Tezcan ve Okyar, 2004).

### 2.2. Metot

#### 2.2.1. Doğa Çalışmaları

Diyarbakır (GAP ULUSLARARASI TARIMSAL ARAŞTIRMA VE EĞİTİM MERKEZİ ve ZİRAİ MÜCADELE ARAŞTIRMA ENSTİTÜSÜ deneme bahçesi) kiraz bahçelerinde zararlı ve faydalı türler ile önemli türlerin doğada görülme zamanını belirlemek için Mart ayından itibaren survey yapılmıştır. Kiraz bahçelerinde 2015-2016 yılları arasında vejetasyon süresi boyunca haftada bir kez diğer dönemlerde ise iki haftada bir kez örnekler düzenli aralıklarla alınmıştır. Örneklemelerde bahçelerin ilaçlanmamış ve bakımsız olmasına özen gösterilmiş ve her bahçede incelenen ağaç sayısı Grigorov (1974)'a göre belirlenmiştir (Çizelge 1). Kiraz sineğinin (*Rhagoletis cerasi* L.) takibinde 15x20 cm boyutlarında Rebell sarı renkli görsel yapışkan tuzak + Amonyak tablet kullanılmıştır (Özdem, 2001). Yaprakbüktenler ve diğer bazı türlerin erginlerini yakalamak için besin tuzakları (100 ml şarap, 900 ml su, 25 gr seker ve 25 ml sirke) kullanılmıştır (Tezcan ve Okyar, 2004).

Çizelge 1. Çalışmaların yapıldığı Bahçelerde gözlemlenen ağaç miktarı (Grigor, 1974)



Bahçedeki Mevcut Ağaç Miktarı (adet)	Gözlemlenmesi Gereken Ağaç Miktarı (adet)
1-20	Tamamı
21-70	21-30
71-150	31-40
151-300	41-80
301-1000	%15

### 2.2.2. Laboratuvar Çalışmaları

Bahçelerden toplanan böcekler ve akar türleri laboratuvarında önce birbirlerine benzerliklerine göre gruplandırılarak numaralandırılmıştır. Bununla birlikte yaprakbitleri (afit) gibi yumuşak vücutlu olan bireyler %70'lik alkol içine alınmıştır. Ergin öncesi dönemde bulunan bireyler ise buldukları bitki kısmıyla beraber iklimlendirme odasında ayrı ayrı kültür kafeslerine alınarak ergin elde edilmeye çalışılmıştır. Daha sonra böcekler takım, familya ve türlerine göre iğnelenip, etiketlenerek uygun kutulara alınarak tanı için konu uzmanına gönderilmiştir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Zararlı türler

Çalışma sonuçlarına göre örnekleme bahçelerinde fitofag türlerden 28 böcek ve 1 akar ile genel predatör ve parazitoitlerden olan 14 faydalı böcek türü saptanmıştır. Saptanan zararlı türlerden *Archips rosanus* L., *Tropinota hirta* Poda, *Stephanitis pyri* Fabricius, *Myzus cerasi* F., *Capnodis tenebrionis* L., *Scolytus rugulosus* Müller ve *Tetranychus urticae* Koch.'un ekonomik yönden zararlı olduğu gözlemlenmiştir.

**Çizelge 2.** Diyarbakır ili kiraz ağaçlarında 2014-2015 yıllarında belirlenen zararlı böcek ve akar türleri

Takım	Familya	Tür	
Coleoptera	Buprestidae	<i>Capnodis tenebrionis</i> (Linnaeus)	
		<i>Capnodis carbonaria</i> (Klug)	
	Cantharidae	<i>Cantharis decipiens</i> (Baudi)	
	Curculionidae	<i>Polydrusus ponticus</i> (Faust)	
		<i>Lixus cardui</i> (Oliver)	
	Diptera	<i>Hypera variabilis</i> (Herbst)	
		Scarabaeidae	<i>Tropinota (= Epicometis) hirta</i> (Poda)
		Scolytidae	<i>Scolytus rugulosus</i> (Müller)
	Hemiptera	Tephritidae	<i>Rhagoletis cerasi</i> (L.)
		Aphididae	<i>Myzus cerasi</i> (Fabricius)
Cicadellidae		<i>Empoasca decipiens</i> (Pao)	
Issidae		<i>Agalmatium flavescens</i> Oliv	
Hymenoptera	Pentatomidae	<i>Eurydema ornata</i> (L.)	
	Tingidae	<i>Stephanitis pyri</i> (Fabricius)	
	Tenthredinidae	<i>Caliroa limacina</i> (Retzius)	
		Lepidoptera	<i>Archips rosanus</i> (L.)
	<i>Aphelia ferugana</i> (Hübner)		
<i>Aphelia viburnana</i> (Den.& Sch.)			
Acarina	Tetranychidae	<i>Cnephasia tianshanica</i> (Filipjev)	
		<i>Cydia pomonella</i> (L.)	
		<i>Hedya nubiferana</i> (Haw)	
		<i>Lobesia botrana</i> (Den.& Schif.)	
		<i>Tortrix viridana</i> (L.)	
		<i>Arctia villica</i> (L.)	
		<i>Lymantria dispar</i> (L.)	
		<i>Aporia crataegi</i> (L.)	
		<i>Acronicta psi</i> (L.)	
		<i>Noctua fimbriata</i> (Schreber)	
<i>Tetranychus urticae</i> (Koch.)			

Ülkemiz kiraz alanlarında yapılan çeşitli çalışmalarda; Özder (1999); Tekirdağ ili ve çevresindeki kiraz bahçelerinde 23 zararlı böcek türü tespit etmiş ve bunlardan 5 türün yaygın olduğunu bildirmiştir. Ulusoy ve ark. 1999, Pozantı ve Ulukışla kiraz bahçelerinde toplam 86 zararlı böcek türü belirlemiş ve bunlardan bazılarının ekonomik olarak önemli olduğunu bildirmektedirler. Benzer başka bir çalışmada Çınar ve ark. 2004, Elazığ ve Mardin illeri kiraz alanlarında yaptıkları çalışma sonucunda 36 zararlı tür

belirlediklerini bildirmişlerdir. Ertop ve Özpınar (2011), Çanakkale ili kiraz bahçelerinde 2005-2006 yıllarında yürütülen bir çalışmada 9 takımda 32 familyaya ait 51 böcek ve 4 akar türü belirlediklerini ve bu türlerden *C. tenebrionis*, *T. hirta*, *L. dispar*, *S. rugulosus*, *M. cerasi*, *A. rosana*, *R. cerasi* ve *C.molesta*'nın kiraz ağaçlarında önemli zarara neden oldukları gözlemlediklerini bildirmektedirler.

### 3.2. Faydalı türler

Kiraz bahçelerindeki zararlı organizmaların doğal düşman türlerini belirlemek amacıyla örnekleme yapılmıştır. Bu amaçla kiraz bahçelerinden toplanan ve laboratuvarında kültüre alınan zararlı ile bulaşık bitki örneklerinde parazitoit ve predatörleri saptanmaya çalışılmıştır. Kiraz bahçelerinde ağaç dallarına yapılan darbe yöntemi yanı sıra besi tuzaklarından elde edilen genel predatör ve parazitoitlerden olan 5 takıma bağlı 6 familya ait 14 faydalı böcek türü saptanmıştır (Çizelge 3).

**Çizelge 3.** Mardin ve Elazığ illerinde 2015-2016 yıllarında kiraz bahçelerinde belirlenen genel predatör ve parazitoit türleri

Takım	Familya	Tür
Coleoptera	Coccinellidae	<i>Adalia fasciatopunctata</i> (Mulsant)
		<i>Coccinella semtempunctata</i> (L.)
		<i>Coccinella undecimpunctata</i> (L.)
		<i>Chilocorus bipustulatus</i> (L.)
		<i>Oenopia (Synharmonia) conglobata</i> (L.)
		<i>Scymnus pallipediformis</i> (Günther),
		<i>Stethorus punctillum</i> (Weise)
		<i>Psyllobora vigintiduopunctata</i> (L.)
		<i>Forficula auricularia</i> L.
		<i>Episyrphus balteatus</i> De Geer
Dermaptera	Forficulidae	<i>Metasyrphus corollae</i> Fabricius
		<i>Nagusta goedeli</i> Kaltenbach
Diptera	Syrphidae	<i>Nabis punctatus</i> (Costa)
		<i>Apanteles</i> sp.
Hemiptera	Reduviidae	
Hymenoptera	Nabidae	
	Braconidae	

Özder (1999), Tekirdağ ili kiraz bahçelerinde 12 predatör ve 17 parazitoit ile birlikte toplam 29 faydalı böcek bulduklarını bildirmişlerdir. Ertop ve Özpınar (2011), Çanakkale ili kiraz bahçelerinde 13'ü predatör, 6'sı ise parazitoit tür olmak üzere 19 yararlı böcek türü belirlediklerini bildirmişlerdir.

Çalışmalarda zararlının değişik dönemleriyle bulaşık bitki örneklerinden *Archips* türlerinin bilinen parazitoitlerden *Apanteles* sp. (Hym.:Braconidae) türü elde edilmiştir. Nitekim Aydoğdu ve ark. (2011) tarafından Edirne ilindeki organik kiraz bahçelerinde de çalışmamızda belirlediğimiz türlerden benzer türleri tespit etmişlerdir. Bu türler *Pimpla spuria* Gravenhorst, *Scambus buolianae* (Hartig), *Bracon (Habrobracon) hebetor* Say, *B. (Bracon) intercessor* Nees, *Meteorus versicolor* (Wesmael) ve *M. rufus* (DeGeer) gibi faydalı türleri'nin *A. rosana*'yı parazitlediğini tespit etmişlerdir. Özdemir ve Özdemir (2002), Orta Anadolu Bölgesinde 1984-2001 yılları arasında *Archips* spp. türlerinde (Lep.:Tortricidae) saptanan Ichneumonidae (Hym.) familyasına ait türler ile ilgili yaptıkları çalışmada toplam 14 tür parazitoit türü saptamışlardır. Piekarska-Boniecka ve ark., (2008), tarafından 2004 ve 2007 yıllarında Polonya'nın elma bahçelerinde *A. rosana*'nın parazitoit tür kompozisyonu ve parazitlenmesi üzerine yaptıkları çalışmada *A. rosana* pupasının Ichneumonidae, Chalcidoidea (Hymenoptera) ve Tachinidae (Diptera) gruplarının parazitoitleri ile parazitlendiğini belirlemişlerdir. Polat ve Tozlu (2010), Erzurum Atatürk Üniversitesi Kampüsü'ndeki kiraz alanlarında 2004-2005 yıllarında yürüttükleri çalışmada, *Archips rosana* (Linnaeus, 1758) (Lep.: Tortricidae)'nın parazitoitlerini belirlemişlerdir. Zararlının Hymenoptera takımına ait Ichneumonidae'den 4, Pteromalidae'den 2, Chalcididae'den 1, Torymidae'den 2, Eulophidae'den 1 ve Eupelmidae'den de 1 olmak üzere, toplam 11 parazitoit türünü tespit etmişlerdir. Bu türler içerisinde elde edilen tüm parazitoit türlerinin popülasyonunun % 41.48'ini oluşturan *Itopectis maculator*'nın (Fabricius, 1775) (Hymenoptera: Ichneumonidae) en önemli parazitoit türü olduğunu tespit etmişlerdir.

Çalışmanın yürütüldüğü kiraz bahçelerinde bulunan ve genel predatörlerden biri olan Coccinellidae familyasına ait 8 tür tespit edilmiştir. Bu türlerden *Coccinella semtempunctata* (L.), *Scymnus pallipediformis* (Günther), ve *Stethorus punctillum* (Weise) türleri Diyarbakır ilindeki kiraz alanlarında yoğun olarak bulunmuştur. Çalışmanın yapıldığı kiraz bahçelerinde Syrphidae familyasına bağlı *Metasyrphus corollae* (F.) ve *Episyrphus balteatus* (De Geer) türleri belirlenmiştir. Sürvey yapılan kiraz alanlarında yoğun şekilde Chrysopidae familyasına ait *Chrysoperla carnea*'nin ergin ve larvaları saptanmıştır.

Kaplan ve Yücel, 2014. Çilek alanlarında; Kaplan ve Bayhan, 2014. Bağ alanlarında; Kaplan ve ark., 2016. Zeytin bahçelerinde. zararlı böcek türleri bir arada bulunan predatörlerden Coccinellidae familyasından *Coccinella semtempunctata* L., *C. undecimpunctata* L., *Chilocorus bipustulatus* L., *Stethorus* sp., *Scymnus* sp., *Hippodamia variegata* Goeze ve *Synharmonia conglobata* L., Chrysopidae familyasından *Chrysoperla carnea* Stephens, Nabidae familyasından *Nabis punctatus* Costa, Reduviidae familyasından *Nagusta goedeli* Kolenatil, Syrphidae familyasından *Metasyrphus corollae* Fabricius, *Eristalis arbustorum* L. ve *Episyrphus balteatus* De Geer'i tespit ettiklerini ve bu türlerin söz konusu bitkisel üretim alanlarında yaygınlık ile yoğunluk açısından önemli bulduklarını bildirmişlerdir. Kütük ve Güçlü (2016), Erzincan ilinde yetiştirilen kirazlarda yaprakbiti türlerinin avcısı olan 8 predatör tür tespit ettiklerini bildirmişlerdir.

Çeşitli zamanlarda yapılan araştırmalarda Cranshaw (2004), *C. carnea* erginlerinin nektar ve polen ile beslenmeleri yanı sıra *C. carnea* larvalarının ise thrips, yaprakbiti ve küçük turtulların predatörü olduğu bildirmiştir. Öncüer (1991), *C. carnea*'nin yaprakbitleri üzerinde ciddi etkileri olduğunu ortaya açıklamıştır. Ayrıca yapılan başka bir çalışmada (Kaya ve Öncüer 1988, Yoldaş 1994) *C. carnea*'nin polifag bir tür olduğu, larvalarının thripsler, yaprakbitleri, bazı kabuklubitler, lepidopter yumurta ve larvaları, pysillidler, Chrysomelidae familyasına bağlı larvalar, bazı akar türleri ve beyazsinekler ile beslendiği bildirmiştir.

### 3.3. Bazı önemli zararlı türlerin doğada görülme zamanı

Çalışma yapılan kiraz bahçelerinde 28 zararlı türden en yoğun olarak lepidoptera takımından Tortricidae familyasına ait *Archips rosanus* (L.) başta olmak üzere 8 adet Archips türü belirlenmiştir. Söz konusu türlerden *A. rosanus*'un larvaları Diyarbakır İlinde mart ayının ikinci yarısından sonra kiraz yapraklarında görülürken erginleri ise Mayıs ayının ikinci haftasında itibaren tuzaklarda görülmüş ve son olarak tuzaklarda Haziran ayının son haftasında görülmüştür. Söz konusu zararlının larvaları ilk iki evresinde yeni sürmüş yaprakların uçkısını, gözlerin iç, dış ve dip kısımlarından, sonra ağacın tomurcukları çiçeklerinde beslenmektedir. Ayrıca meyveleri kemirerek ürün kaybına ve kalite düşüklüğüne neden olur. Özder (1999), Tekirdağ ili ve çevresi kiraz ağaçlarında yürüttükleri bir çalışma sonucunda elde edilen 23 zararlı türden en yoğun olarak *Archips* türlerin olduğunu bildirmiştir. Çınar ve ark. (2004), *A. rosanus*'un larvaları Mardin İli Kiraz ağaçlarındaki yapraklarda şubat sonunda, Elazığ İlinde mart ayının ilk yarısında kiraz yapraklarında görüldüğünü, zararlının larvasının birinci ve ikinci döneminde ağacın çiçek ve tomurcuklarında beslenmesi yanı sıra yeni sürmüş yaprakları bükerek 2-10 adet yaprağı ipeksi ağlarla birbirine bağlayıp buket haline getirdiğini bildirmektedirler. Kaplan ve Alaserhat (2019), Mardin ve Elazığ illeri kiraz bahçelerinde 2017 yılında yürüttükleri çalışmada, *A. rosanus* erginlerinin Mayıs ayının üçüncü haftası ile Temmuz ayının son haftası arasında tuzaklarda görüldüğü ve dolayısıyla uçuş periyodunun 64-71 gün sürdüğünü bildirmiştir. *Archips* türleri, karakteristik olarak genç yaprakları bükerek 3-6 adet yaprağı ipeksi ağlarla birbirine bağlayıp buket haline, tek yaprağı ise orta damar doğrultusunda puro gibi uzunlamasına sarmaktadır. Bu zararlı türün popülasyon yoğunluğunun yüksek olduğu bahçelerde önlem alınmadığı durumda ileri ki dönemlerde tüm yapraklara zarar vererek meyve ağaçlarında verim ve kalite kaybına neden olduğu belirlenmiştir.

Kiraz bahçelerinde ana zararlı durumunda olan *Rhagoletis cerasi* L. (Kiraz sineği) ise çalışma yapılan bahçelerinde düşük yoğunlukta bulunmuştur. Erginler mayıs ayı başlarından itibaren tuzaklarda görülmüş, uçuşu başladıktan 2-3 hafta sonra tuzaklarda yakalanan ergin sayısı bir tepe noktası oluşturmuş ve bahçelere her iki yılda da uçuş periyodu 30-45 gün arasında sürmüştür. Nitekim Kaplan (2019), Elazığ ili kiraz bahçelerde eşeyssel çekici tuzaklarda Kiraz sineğinin ilk erginleri mayıs ayının ilk haftasında görüldüğünü, popülasyon gelişiminin yaklaşık 21-42 gün arasında devam ettiğini bildirmiştir. Ekolojik koşullar, rakım, yöney ve bitkinin vejetasyon süresi; erginin doğaya çıkış tarihini, popülasyon gelişimini ve bitişini etkilediğini, bununla birlikte yıllara göre kiraz bahçelerinde hasat zamanı kontrol edilen 1000 adet meyvede %0.2 ve %0.4 arasında bulaşma (Kurtlu meyve) saptadığını bildirmiştir (Kaplan, 2019). Borovinova ve Sredkov (2006), Bulgaristan'da, Entegre ve geleneksel yöntemlerle kiraz üretimini karşıladıkları çalışmalarında, ana zararlı olarak *Rhagoletis cerasi*'yi belirlemiştir.

*S. pyri*'nin nimf ve erginleri çalışmanın yapıldığı illerin kiraz üretilen alanlarında mayıs ve eylül ayların kiraz yapraklarında beslemesi sonucu ağaçların sağlıklı bir şekilde fotosentezi yapmaması sonucu verim ve kalite kaybına neden olmaktadır. Nitekim Çam (1993), *S. pyri*'nin Tokat İlinin Kiraz bahçelerinde yaygın olduğunu, nimf ve erginlerin kiraz, vişne ve idris ağaçlarında yaprakların alt yüzeyini sokup emerek beslenmesi sonucu zarar oluşturduğunu belirtmiştir. Yine, Önder et al. (1995), Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde sulu tarıma geçilmesi halinde bölgede henüz fazla zararı görülmeyen *S. pyri*'nin zararının artacağını bildirmiştir.

Çınar ve ark. (2004), *S. pyri*'nin çalışmanın yürütüldüğü illerin kiraz yetiştirilen alanlarda nisan- eylül ayları arasında aktif olduğunu saptanmıştır.

*M. cerasi* çalışmanın yapıldığı bahçelerde yaygın olup nisan-eylül ayları arasında görülmüştür. Yağışlı ve sıcak geçen Nisan ve Mayıs aylarında zararlı kirazın yeni yaprak ve genç sürgünlerde kümeler oluşturarak, yaprakların bükülmesi ve bol miktarda fümajine neden olmaktadır. Çınar ve ark. (2004), tarafında yapılan bir çalışmada *M. cerasi*'nin nisan-eylül ayları arasında kiraz bahçelerinde görüldüğünü ve zarar yaptığını bildirmiştir.

Kiraz bahçelerinde çiçeklenmenin başlamasıyla *T. hirta*'nın erginleri iklim koşullarına bağlı olarak nisan ayının ilk haftasında itibaren tuzaklarda görülmekte nisanın ortalarına doğru ergin sayısı en yoğun düzeye ve son olarak mayıs ayının ilk haftasına kadar tuzaklarda görülmüştür. Bu zararlı doğrudan çiçeklerde beslenerek zarar oluşturmaktadır. Çınar ve ark., (2004) *T. hirta*'nın kirazlarla beslendiğini, Ulusoy ve ark. (1999) bu türün kirazlar için ekonomik olduğunu bildirmiştir.

Bu çalışma kiraz bahçelerinde İki noktalı kırmızı örümcek (*Tetranychus urticae*) erginleri iklim koşullarına bağlı olarak nisan ayının ikinci veya üçüncü haftasında yapraklarda ilk olarak görülmüş ve önemli bir zararlı olarak belirlenmiştir. Kaplan ve Yücel (2014), Elazığ ili çilek alanlarında kırmızı örümceklerin yaygınlık ve yoğunluk açısından önemli bir zararlı olduğunu bildirmiştir. Kırmızı örümcekler kiraz ağaçlarının yapraklarında, bitki öz suyunu emmesi ve zehirli madde salgılamasıyla yarak zarar oluştururlar. Bunun sonucunda ağacın yapraklar önce beyaz, sonra sarı ve kahverengi lekeler oluşur. Bu lekeler birleşerek yaprağın kuruyup dökülmesi sonucu meyveler güneş yanıklığına maruz kalması yanı sıra ürün kaybına neden olur.

## 4. Sonuç

Diyarbakır ili kiraz ağaçlarında fitofag ve faydalı türler ile önemli bazı türlerin doğada görülme zamanı belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Yürütülen bu çalışma sonucunda kiraz bahçelerinde fitofag türlerden 28 böcek ve 1 akar ile genel predatör ve parazitoitlerden olan 14 faydalı böcek türü saptanmıştır. Saptanan zararlı türlerden *A. rosanus*, *R. cerasi*, *Tropinota hirta* Poda., *Stephanitis pyri* Fabricius, *M. cerasi*, *C. tenebrionis*, *S. rugulosus* ve *T. urticae*'in ekonomik açıdan zararlı olduğu gözlenmiştir. Ayrıca *C. sempunctata*, *Synharmonia conglobata* L., *Scymnus pallipediformis* Gunther, *M. corollae* ve *C. carnea*'nin Diyarbakır ili

Kiraz ağaçlarında en fazla görülen yararlı türler olduğu belirlenmiştir. Kiraz bahçelerinde saptanan zararlı türden en yoğun olarak lepidoptera takımından Tortricidae familyasına ait *A. rosanus* başta olmak üzere 8 adet Archips türü belirlenmiştir. Söz konusu türlerden *A. rosanus*'un larvaları Diyarbakır İlinde nisan ayının ikinci yarısından sonra kiraz yapraklarında görülmektedir. Kiraz bahçelerinde ana zararlı durumunda olan kiraz sineği ise çalışma yapılan bahçelerinde düşük yoğunlukta bulunmuştur. Erginler Mayıs ayı başlarından itibaren tuzaklarda görülmüş ve her iki yılda da bahçelerde uçuş periyodu 30-45 gün arasında sürmüştür. *S. pyri*'nin nimf ve erginleri çalışmanın yapıldığı illerin kiraz üretilen bahçelerinde Mayıs ve Eylül ayları arasında kiraz yapraklarında beslemesi sonucu ağaçların sağlıklı bir şekilde fotosentezi yapmaması sonucu verim ve kalite kaybına neden olmaktadır. *M. cerasi* çalışmanın yapıldığı bahçelerde yaygın olup nisan-Eylül ayları arasında görülmüştür.

Günümüzde insan sağlığının, çevrenin ve biyolojik çeşitliliğin korunması ön plandadır. Modern bir yaklaşımla, zararlı türlerle mücadele ederken tüm faktörlerin çevresiyle birlikte düşünülmesi gerekir. Kirazlarda zararlılarla birlikte faydalı türlerinin de yaygın olduğu alanlarda uygulanacak mücadele yöntemlerinde, geniş spektrumlu kimyasal ilaç ve gereksiz ilaçlamalardan kaçınılması önerilir. Çünkü biyolojik mücadele kapsamında yararlı türler korunduğu ve etkinlikleri artırıldığı sürece entegre mücadele açısından önemli adımlar atılmış olacaktır. Neticede "Entegre mücadele" programlarının ilk basamağı mevcut faunanın belirlenmesidir, diğer çalışmalar ancak bu aşamadan sonra yapılabilir.

Sonuç olarak kiraz bahçelerindeki zararlı türler kiraz ağaçlarının sürgün, yaprak, tomurcuk, çiçek ve meyvelerinde beslenerek verim ve kaliteyi düşürmektedir. Meyve bahçelerinde zararlı organizma türleri ile mücadelede gelişen güzel pestisit kullanımının artmasıyla canlılar var olan doğal dengenin bozulmasına neden olacak ki, buda ileriki yıllarda zararlıların salgın yapma ihtimalini arttıracaktır. Nitekim kiraz bahçelerinde belirlenen zararlı türler ile mücadelede başarılı olmak için öncelikle doğada faydalı türlerin belirlenmesi, korunması ve etkinliklerinin artırılması amacıyla ilaçlama zamanı, ve sayısı yönünde elde edilmiş olan bilgiler kiraz üreticisi ile paylaşılacaktır. Böylece gereksiz ilaçlamaların önüne geçilerek üründe kalite ve verim kaybı yanı sıra üründe kalıntı nedeniyle tüketimde ve ihracatta sorun yaşanmayacak ve sağlıklı bir şekilde bu ürün tüketilebilecektir.

## Teşekkür

Çalışmalarında elde etmiş olduğum, Coccinellidae teşhisleri Prof. Dr. Nedim UYGUN (Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Adana), Syrphidae teşhisleri Prof. Dr. Ahmet Faruk ÖZGÜR (Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Adana), Chrysopidae teşhisleri Doç. Dr. Ali SATAR (Dicle Üniversitesi Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Diyarbakır), Nabidae ve Reduvidae teşhisleri Doç. Dr. Ahmet DURSUN (Amasya Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Amasya), Lepidoptera türlerini Dr. Mustafa ÖZDEMİR (Ankara Zirai Mücadele Merkez Araştırma Enstitüsü, Dermaptera türlerinin teşhisi Prof. Dr. Ali DEMİRSOY (Hacettepe Üniversitesi) ve Braconidae teşhisleri Prof. Dr. Ahmet BEYARSLAN (Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Bitlis) tarafından yapılmış olup, tüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

## Kaynakça

- Anonymous, (2016). (<http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/O/QC/E>).
- Anonim, (2018). ([www.tuik.gov.tr](http://www.tuik.gov.tr)) (Erişim Tarihi: 17.03.2019)
- Aydoğdu, M., Beyarlan, A. & Yılmaz, T., (2011). Organik Kiraz Bahçelerinde *Archips rosana* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Tortricidae) Üzerinde Gelişen Parazitik Arılar. Türkiye IV. Bitki Koruma Kongresi Bildirileri, Kahramanmaraş.
- AYSU, R., (1955). Yaprak büken "*Coccoecia*". Bornova Zir. Müe. Ens!. Yay. No.39.
- Borovinova, M. & Sredkov, I., 2006. Comparison of Integrated and Conventional Plant Protection Of Cherry Orchards. Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj, XXXIV
- Cranshaw, W., (2004). Biological Controls IX. Insect Predators. <http://highplainsippm.org>
- Çinar, M., Çimen, İ. & Bolu, H., (2004). Elazığ ve Mardin illeri kiraz ağaçlarında zararlı olan türler, doğal düşmanları ve önemlileri üzerinde gözlemler. Türkiye Entomoloji Dergisi, 28 (3): 213-220
- Düzgüneş, Z., (1980). Küçük Arthropodların Toplanması, Saklanması ve Mikroskopik Preparatlarının Hazırlanması. Gıda Tarım Hayvancılık Bakanlığı Zirai Mücadele Zirai Kar. Gn. Müdürlüğü Yayınları. Ankara, 778 s.
- Erol, T. & Yaşar, B., 1996. Van ili elma bahçelerinde bulunan zararlı türler ile doğal düşmanları. Türkiye Entomoloji Dergisi, 20(4)281-293.
- Ertop, S. & Özpınar, A., (2011), Çanakkale İli kiraz ağaçlarındaki fitofag ve yararlı türler ile bazı önemli zararlıların popülasyon değişimi. Türkiye Entomoloji Dergisi, 1(2):109-118.
- Gökmen, N., (1965). Kirazlarda Yaprak BUken (*Coccoecia* spp.) ve Mücadelesi. Tar. Bak. Zir. Müc. Zir. Kar. Gn. Md. Mes. Neş. Ser. Ç.B.No:3, 12s.
- Grigorov, S.P., (1974). Karantina na Restaniata. Zemizdat, Sofya, 346 pp.
- Kaplan, M. & Yücel, A., (2014). Elazığ İli Çilek Alanlarında Belirlenen Zararlı Böcek ve Akar Türleri, Meyve Bilimi Dergisi ISSN: 2148-0036 Cilt (Sayı) /Vol.(Issue): 1(2) Sayfa/Page: 7-14 , Isparta.
- Kaplan, M. & Bayhan, E., (2014). Mardin İli Bağ Alanlarında Thripslerle Birlikte bulunan Doğal Düşmanlar . Uluslararası Mezopotamya Tarım Kongresi (IMAC 2014), 176 s. (22-25 Eylül 2014), Diyarbakır.
- Kaplan, M., Özgen, İ. & Ayaz, T., (2016). Mardin İli Zeytin Bahçelerinde Zeytin Pamuklubiti [*Euphyllura straminea* Loginova (Hemiptera: Psyllidae)]'nin Doğal Düşmanları ve Önemli Türlerin Popülasyon Değişimi. Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi Cilt 20, Sayı 3 (2016), 175-182s.
- Kaplan, M., (2019). Elazığ İli Kiraz Üretim Alanlarında Kiraz Sineği (*Rhagoletis Cerasi* L.) (Diptera:Tephritidae)'nin Doğaya Çıkış Zamanı, Populasyon Değişimi ve Bula-şıklık Oranını Belirlenmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Sayı 16, S.363-366.



- Kaplan, M. & Alaserhat, İ., (2018). Phytophagous and Beneficial Species on Cherry Trees and Time to Being Seen of Some Important Species in Nature in Mardin and Elazığ Provinces Turkey. IV. International Congress on Mathematics, Engineering & Natural & Health Sciences İn Kiev, Ukraine On August 11-14, 2018.
- Kaplan M. & Alaserhat, İ., (2019). Investigation, on Mass-Trapping of *Arcips rosanus* L. (Lepidoptera: Tortricidae), pest of Cherry Trees. Fresenius Environmental Bulletin, Volume 8-No. 2A/2019 pages: 1308-1311.
- Kaya, Ü. & Öncüer, C., (1988). Laboratuvarda Üretilen *Chrysoperla carnea* (Steph.) (Neuroptera: Chrysopidae)'nın Biyolojisine Farklı İki Besinin Etkisi Üzerinde Bir Araştırma. Türkiye Entomoloji Dergisi, 12 (3): 151-159.
- Kütük, Y. & Güçlü, Ş., (2016). Erzincan ilinde kirazlarda (*Prunus avium* L.) zarar yapan Aphididae (Hemiptera) türleri ile parazitoit ve predatörlerinin belirlenmesi. Bitki Koruma Bülteni 2016, 56(2): 155 - 163.
- Nizamoglu, K., (1957). Türkiye Meyve Ağaçları Zararlıları ve Mücadelesi. Koruma Tarım ilaçları A.Ş. No:5, 508s.
- Öncüer, F., (1991). Türkiye Bitki Zararlısı Böceklerin Parazit ve Predatör Kataloğu. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 505, İzmir, 281s.
- Özbek, S., (1978). Özel Meyvecilik. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 128, Adana
- Özbek, H., GÜÇLÜ, Ş. & Hayat, R., (1996). Kuzeydoğu Tarım Bölgesinde taş çekirdekli meyve ağaçlarında bulunan fitofag ve predatör böcek türleri. Türk Tarım ve Ormancılık Dergisi 20,267-282.
- Özdem, A., (2001). Orta Anadolu Bölgesinde Kiraz Sineği [*Rhagoletis cerasi* L.] (Diptera: Tephritidae)]'nin Biyolojisi ve Biyoteknik Savaşım Yöntemleri Üzerinde Araştırmalar. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, S. 114, Ankara
- Özdem, A., Bozkurt, V., Güler, Y. & Özdemir, M., (2017). Afyonkarahisar İli Kiraz Bahçelerinde Zararlı Yaprakbükten [*Pandemiscerasana* (Hübner, 1786) (Lepidoptera: Tortricidae)]'in Doğal Düşmanlarının Belirlenmesi. İç Anadolu Bölgesi 3. Tarım ve Gıda Kongresi (26-28 Ekim 2017), Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.
- Özdemir, Y. & Özdemir, M., (2002). Orta Anadolu Bölgesinde *Archips* türlerinde (Lep.:Tortricidae) saptanan Ichneumonidae (Hym.) türleri. Bitki Koruma Bülteni, 2002, 42 (1-4): 1-7.
- Özder, N., (1999). Tekirdağ ilinde kiraz bahçelerinde bulunan doğal düşmanlar ve bunlardan yumurta parazitoiti *Trichogramma cacoeciae* March.(Hym.: Trichogrammatidae)'nin yaprak bükten türlerinde (Lep.: Tortricidae) doğal etkinliği üzerinde araştırmalar. Türkiye 4. Biyolojik Mücadele Kongresi, 26-29 Ocak 1999.
- Piekarska-Boniecka, H., Wilkaniec, B. & Dolan'Ska-Niedbała, E., (2008). Parasitoids of Ichneumonidae family (Hymenoptera, Apocrita) limiting abundance of rose tortrix moth *Archips rosana* (L.) in selected orchards in Wielkopolska. Progress in Plant Protection, 48 (4), 1319-1322.
- Polat, A. & Tozlu, G., (2010). Erzurum'da *Archips rosana* (Lin., 1758) (Lep.: Tortricidae)'nın kısa biyolojisi, konukçuları ve parazitoitleri üzerinde araştırmalar. Türkiye Entomoloji Dergisi, 2010,(4):529-542.
- Tezcan, S. & Okyar, Z., (2004). İzmir ve Manisa İlleri Ekolojik Kiraz Bahçelerinden Toplanan Thyatiridae, Papilionidae, Pieridae, Nymphalidae ve Satyridae (Lepidoptera) Familyalarına Bağlı Türler Üzerinde Bir Değerlendirme. Trakya Univ J Sci, 5(2): 127-133.
- Ulu, O., (1983). İzmir ve Manisa İlleri Taş Çekirdekli Meyve Ağaçlarında Zarar Yapan *Archip'* (*Cacoecia* spp.) (Lepidoptera: Tortricidae) Türleri, Tanımları, Konukçuları, Yayılışları ve Kısa Biyolojileri Üzerinde Araştırmalar. T.C. Tar. ve Orm. Bak. Zir. Müc. ve Zir. Kar. Gen. Müd., Bornova Böl. Ziraat Mücadele Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Araştırma Serisi No: 45,165s, Ankara.
- Ulusoy, M.R., Vatansever, G. & Uygun, N., (1999). Ulukışla (Niğde) ve Pozantı (Adana) yöresinde kirazlarda zararlı olan türler, doğal düşmanları ve önemlileri üzerindeki gözlemler. Türkiye Entomoloji Dergisi, 23 (2): 111-120.
- Ülkümen, L., (1973), Bağ-Bahçe Ziraatı. Atatürk Üniversitesi Yayınları No: 275, Ziraat Fakültesi Yayınları No: 128, Ders Kitapları Serisi No: 22, Erzurum.
- Yoldaş, Z., (1994). İki Farklı Avla Beslenen *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae)'nın Biyolojisi Üzerinde Araştırmalar. Türkiye 3. Biyolojik Mücadele Kongresi Bildirileri (25-28 Ocak 1994), 375-380 s., İzmir.





# Kırmızı Hevhulma (*Lythrum salicaria* L.) Ekstraktlarının Farklı Sıcaklık ve Konsantrasyonlarının Marul Tohumları Üzerindeki Allelopatik Etkisi

Betül Akın<sup>1\*</sup>, Nüket Bingöl<sup>1</sup>, Sema Leblebici<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dumlupınar Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Kütahya, Türkiye  
<sup>2</sup>Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Bilecik, Türkiye

(İlk Geliş Tarihi 4 Eylül 2019 ve Kabul Tarihi 22 Ekim 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.615314)

**ATIF/REFERENCE:** Akın, B., Bingöl, N. & Leblebici, S. (2019). Kırmızı Hevhulma (*Lythrum salicaria* L.) Ekstraktlarının Farklı Sıcaklık ve Konsantrasyonlarının Marul Tohumları Üzerindeki Allelopatik Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 290-296.

## Öz

Bu çalışmada, farklı konsantrasyonlar (0, 0,5, 1 ve 5 g/100 ml kök, gövde ve yaprak) ve sıcaklıklarda bekletilerek (24 ve 80 °C) elde edilen kırmızı hevhulma (*Lythrum salicaria* L.) ekstraktlarının, marul (*Lactuca sativa* L.) bitkisinin çimlenme ve fide gelişimi üzerine allelopatik etkileri araştırılmıştır. 24 °C ve 80 °C'de hazırlanan bitki ekstraktları karşılaştırıldığında, 80 °C'de hazırlanan bitki ekstraktlarının konsantrasyon artışına paralel olarak marul tohum çimlenme yüzdesini ve fide gelişimini 24 °C'ye göre önemli oranda azalttığı tespit edilmiştir. Saf suda 24 °C'de elde edilen ekstraktlar kendi içinde değerlendirildiğinde ise, 5 g yaprak ekstraktı çimlenmeyi tamamen engellediği halde diğer uygulamalar arasında istatistiksel bir fark bulunmamıştır. Bunun aksine kök, gövde ve yaprak ekstraktlarının fide gelişimini azalttığı saptanmıştır. Bitki kök, gövde ve yaprağından hem 24 °C hem de 80 °C'de hazırlanan ekstraktların büyümeyi engelleyici etkileri yüksekten düşüğe göre sıralandığında, sıra yaprak > kök > gövde olarak tespit edilmiştir. Yaptığımız çalışma sonuçlarına göre allelopatik aktivitenin ekstrakt konsantrasyonları ile kaynaklarına (kök, gövde, yaprak) göre değiştiği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Allelopati, Sulu ekstrakt, Kırmızı hevhulma (*Lythrum salicaria*), Marul (*Lactuca sativa*).

## Allelopathic Effect of Different Temperatures and Concentrations of Purple loosestrife (*Lythrum salicaria* L.) Extracts on Lettuce Seeds

### Abstract

In this study, allelopathic effects of purple loosestrife (*Lythrum salicaria* L.) extracts, obtained from different concentrations (0, 0.5, 1 and 5 g / 100 ml root, stem and leaves) and temperatures (24 and 80 ° C), on germination and seedling growth of lettuce were investigated. When the plant extracts prepared at 24 °C and 80 °C were compared each other, it was found that the plant extracts prepared at 80 °C significantly decreased the germination percentage and seedling growth of lettuce than plant extracts prepared at 24 °C. When the extracts obtained in pure water at 24 °C were evaluated, 5 g leaf extract completely inhibited germination but there was no statistical difference among the other treatments. In contrast, root, stem and leaf extracts were found to reduce seedling growth. When the growth inhibitory effects of extracts, prepared at both 24 °C and 80 °C from root, stem and leaf, sorted according to high to low, the order was determined as leaf> root> stem. According to the results of our study, allelopathic activity varied according to extract concentrations and sources (root, stem, leaf).

**Keywords:** Allelopathy, Aqueous extract, Purple loosestrife (*Lythrum salicaria*), Lettuce (*Lactuca sativa*).

<sup>1</sup> Sorumlu Yazar: Dumlupınar Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Kütahya, Türkiye, ORCID: 0000-0002-2325-7496, [betul.akin@dpu.edu.tr](mailto:betul.akin@dpu.edu.tr)

## 1. Giriş

Karasal ve sucul ekosistemler arasında yer alan sulak alanlar, bu ekosistemlerin bazı karakteristik özelliklerine sahip olup genellikle dere, nehir, göl ve deniz kıyılarında geçiş bölgeleri olarak tanımlanırlar. Tarih boyunca insanoğlu tarafından farklı amaçlar için kullanılan bu alanların önemini, yapısını, fonksiyonlarını ve sulak alan kayıplarını ortaya koyabilmek için son yıllarda biyolojik ve ekolojik çalışmalar hız kazanmıştır (Mitsch ve Gosselink, 2000). Sulak alan kayıpları günümüzde başta bu alanların tarım amaçlı kullanımı olmak üzere, baraj yapımı, erozyon ve kentleşme gibi nedenlerden dolayı giderek artmaktadır (Gopal ve Goel, 1993; Kim ve Rejmánková 2001).

Sulak alan bitkileri, bu ekosistemlerin yapısı ve işleyişinde anahtar rol oynarlar ve bu bitkiler ışık, besin maddeleri ve yer gibi faktörler bakımından rekabet halindedir. Allelopati denilen rekabet şekli de, bitkiler arasında meydana gelen bir başka etkileşim biçimidir (Rice, 1979). Fitotoksinlerin çevreye salınması, ortamda bulunan diğer bitki türlerinin büyüme ve yaşam süreçlerini etkilediğinden, allelopati istilacı bitki türlerin rekabet başarısını arttırabilmektedir. Bu etkileşim biçiminde organizmalarca çevreye salınan kimyasal maddelerin başka bir bitkide olumlu veya olumsuz etki göstermesi söz konusudur (Kocaçalışkan, 2006). Allelokimyasalların (yani allelopatik etkili kimyasalların) bitkiler üzerindeki etkileri genelde olumsuz yönde olmakla birlikte nadiren de olumlu yönde olabilmektedir (Kocaçalışkan ve Terzi, 2001; Akın ve Kocaçalışkan, 2016). Bu etkiler; büyüme, fotosentez hızı ve besin emilim gücünde azalma, klorosis, şekil bozuklukluğu, absisyon, kuruma ve ölüm olarak sıralanabilir (Rizvi ve Rizvi, 1992; Mammadov, 2014).

Bu çalışmanın konusunu da oluşturan kırmızı hevhulma bitkisi Avrupa-Asya kökenli olup, Avrupa kıtasından eski Rusya'ya kadar tüm sulak alanlarda yayılış göstermektedir (Thompson ve ark. 1987). Türkiye'de 12 taksonu bulunan bitkinin bağlı olduğu Lythraceae familyası, Avrupa'da ise 30 takson ile temsil edilmektedir. Sulak alanlarda 1400 m yüksekliğe kadar yetişebilen ve 0,5 ile 1,5 m boyunda çok yıllık otsu bir bitkidir. Bitki çok sayıda kırmızı kahverengi renkte tohum oluşturmaya karşılık endosperm içermez (Davis, 1965-1988) (Şekil 1).



Şekil 1. Kırmızı hevhulma Bitkisinin Görünüşü

Ülkemizde doğal yayılış gösteren kırmızı hevhulma, kuzey Amerika'da nehir kenarlarında, sulak alanlardaki tek türdür ve sulak alanlarda yetişen diğer bitkilerin yayılışını sınırlandırarak doğal habitatı tehdit eden istilacı bir türdür (Thompson ve ark. 1987, Akanıl, 2002). Bitkinin yaygın olarak yayılış göstermesinin nedenlerinin başında, tohumla çoğalmasının yanı sıra vejetatif olarak da üreyebilme yeteneğinin çok yüksek oluşu ifade edilebilmekle birlikte, türdeki istila özelliğinin mekanizması tam olarak bilinmemektedir (Stevens ve ark. 1997; Akanıl, 2002). Bu bakımdan yapılan bilimsel çalışmalar, kırmızı hevhulma bitkisinin sekonder metabolit içeriği bakımından zengin ve Avrupa geleneksel tıbbında yüzyıllardır kullanıldığını göstermektedir (Humadi ve Istudor, 2009; Barbehenn ve Constabel, 2011). Akın ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmada, *L. salicaria* saf özüt ve çürüme özütlerinin *Lactuca sativa* tohumlarının çimlenmesi ve fide gelişimi üzerine olan etkileri araştırılmış olup, bu çalışma da kullanılan ekstraksiyon yöntemi çalışmamızdan farklılık göstermektedir. Bu çalışmada istilacı tür olarak tanımlanan kırmızı hevhulma'nın 24°C ve 80°C'de hazırlanan kök, gövde ve yaprak ekstraktlarının marul (*Lactuca sativa* L.)'da tohum çimlenmesi ile fide gelişimi (kök ve gövde uzunluğu, yaş ve kuru ağırlık) üzerine allelopatik etkileri araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Kırmızı hevhulma Fidelerinin Yetiştirilmesi ve Ekstraktlarının Elde Edilmesi

Kırmızı hevhulma fideleri yaklaşık 10 cm uzunluğuna ulaşana kadar, içi su dolu havuzlara yerleştirilen saksılar içinde serada yetiştirilmiştir. Hasat edilen fidelerin kök, gövde ve yaprakları ayrılmış ve örnekler 70 °C' de 48 saat boyunca inkübatörde kurutulmuştur. Kurutulan örneklerden 0; 0,5; 1 ve 5 g tartılmış ve 100 ml saf suya konulup 24°C ve 80°C olmak üzere iki ayrı sıcaklık derecesinde 6 saat süre ile bekletilerek ekstraktlar elde edilmiştir. Elde edilen ekstraktlar filtre kâğıdından geçirilip çimlenme deneylerinde kullanılmak üzere buzdolabında muhafaza edilmiştir. Çalışmamızda 24 °C, oda sıcaklığı olması dolayısıyla seçilmiştir. Bazı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda otoklavlama ya da kaynatmanın ekstrakt aktivitesini arttırdığı (Guenzi ve Mccalla, 1962; Jensen ve ark., 1984; Roy ve ark., 2006; Ehsan ve ark., 2011) ifade edildiğinden 80°C tercih edilmiştir.

## 2.2. Marul Tohumlarının Çimlendirme Deneyleri

Bu çalışmada, marul (*Lactuca sativa* L.) bitkisinin tohumları kullanılmıştır. Tohumlar önceden steril edilen ve içinde iki kat kurutma kağıdı bulunan petri kaplarında, 16 saat aydınlık/8 saat karanlık ışık periyodunda ve  $25\pm 1^\circ\text{C}$ 'de çimlendirilmiştir. Deneyler üç tekrarlı olarak (25 tohum x 3) yapılmıştır. Deneyler sonunda marul bitkisinin % çimlenme, kök ve gövde uzunlukları (cm) ile yaş-kuru ağırlıkları (g) hesaplanmış; yaş ağırlıkları alınan kök ve gövdeler  $70^\circ\text{C}$ 'de 48 saat kurutulduktan sonra tartılarak kuru ağırlıkları kaydedilmiştir. Verilerin analizi JMP 6 SAS istatistik yazılımı programı kullanılarak yapılmıştır (JMP, 1995).

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Bulgular

Saf suda  $24^\circ\text{C}$  ve  $80^\circ\text{C}$ 'de bekletilerek elde edilen kırmızı hevhulma ekstraktlarında çimlendirilen marul bitkisine ait % çimlenme sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Saf suda  $24^\circ\text{C}$ 'de bekletilerek elde edilen ekstraktlarda çimlenen marul tohumlarının çimlenme yüzdesi 0-98,00 arasında değişmiş, en yüksek çimlenme oranı kontrol grubunda (% 98,00) görülürken, 5 g'lık yaprak ekstraktında marul tohum çimlenmesi gözlenmemiştir. Saf suda  $24^\circ\text{C}$ 'de bekletilerek elde edilen ekstraktlar kendi içinde karşılaştırıldığında, 5 g yaprak ekstraktı hariç, uygulamalar arasında istatistiksel bir fark bulunmamıştır. Saf suda  $80^\circ\text{C}$ 'de bekletilerek elde edilen farklı konsantrasyonlarda ki kök, gövde ve yaprak ekstraktlarında çimlenen marul tohumlarının çimlenme yüzdesi ise 0-98,67 arasında değişmiş, en yüksek çimlenme oranı kontrol grubunda (% 98,67) görülürken, yine 5 g'lık yaprak ekstraktında marul tohum çimlenmesi gözlenmemiştir. Ayrıca,  $80^\circ\text{C}$ 'de bekletilen kök, gövde ve yaprak ekstraktlarının konsantrasyonları arttıkça marulda çimlenme yüzdesinin önemli ölçüde azaldığı gözlenmiştir.  $80^\circ\text{C}$ 'de hazırlanan ekstraktlar içerisinde 5 g'lık kök, gövde ve yaprak konsantrasyonlarının marul çimlenme yüzdesini önemli oranda engellediği belirlenmiştir.

Tablo 1.  $24^\circ\text{C}$  ve  $80^\circ\text{C}$ 'de Saf Suda Bekletilen Kırmızı hevhulma Ekstraktlarının (Kök, Gövde Ve Yaprak) Marul çimlenmesi (%) üzerine etkisi

Konsantrasyon (g/100 ml)	24 °C			80 °C		
	Ekstraktlar			Ekstraktlar		
	Kök	Gövde	Yaprak	Kök	Gövde	Yaprak
Kontrol (Saf su)	98,00 <sup>a*</sup>			98,67 <sup>a</sup>		
0,5 g	94,67 <sup>a</sup>	92,00 <sup>a</sup>	93,33 <sup>a</sup>	89,33 <sup>ab</sup>	88,00 <sup>ab</sup>	80,00 <sup>b</sup>
1 g	93,33 <sup>a</sup>	90,67 <sup>a</sup>	90,67 <sup>a</sup>	82,67 <sup>b</sup>	85,30 <sup>b</sup>	65,33 <sup>c</sup>
5 g	92,00 <sup>a</sup>	90,67 <sup>a</sup>	0,00 <sup>b</sup>	33,33 <sup>c</sup>	46,67 <sup>c</sup>	0,00 <sup>d</sup>

\* Aynı sütunda farklı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir (Tukey HSD;  $p < 0.05$ ).

$24^\circ\text{C}$  ve  $80^\circ\text{C}$ 'de saf suda bekletilerek elde edilen kırmızı hevhulma ekstraktlarında yetiştirilen marul fidelerine ait ortalama kök ve gövde uzunlukları ile fide yaş ve kuru ağırlıkları Tablo 2'de verilmiştir. Her iki sıcaklıktaki kırmızı hevhulma kök, gövde, yaprak ekstraktlarında konsantrasyon artışına bağlı olarak marul fidelerinin kök uzunluklarının azaldığı, 5 g'lık kırmızı hevhulma yaprak ekstraktlarının marul kök gelişimini engellediği ve diğer uygulamalara göre daha güçlü bir allelopatik etkiye sahip olduğu bulunmuştur.  $24$  ve  $80^\circ\text{C}$  de ki bitki ekstraktlarının (kök, gövde, yaprak) marul fidesinin gövde uzunluğu üzerine etkisi değerlendirildiğinde ise, konsantrasyon artışına bağlı olarak marulda gövde uzunluğunun önemli oranda düştüğü, 5 g kırmızı hevhulma yaprak ekstraktında ise marul fide gelişiminin olmadığı tespit edilmiştir.

$24^\circ\text{C}$ 'de ki 5 g yaprak konsantrasyonu hariç tüm konsantrasyonların marul yaş ağırlık ve kuru ağırlık üzerine istatistiki açıdan bir etkisi tespit edilmemişken,  $80^\circ\text{C}$  uygulamasında ise artan konsantrasyona bağlı olarak yaş ve kuru ağırlıklarda düşüş görülmüştür (Tablo 2). Elde edilen sonuçlara göre, kırmızı hevhulma yaprak ekstraktlarının marul büyüme parametreleri üzerinde yüksek oranda inhibisyon etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

$24^\circ\text{C}$  ve  $80^\circ\text{C}$ 'de saf suda bekletilerek elde edilen bitki ekstraktlarının marul fide gelişimine etkisi karşılaştırılmış ve  $80^\circ\text{C}$ 'de bekletilerek elde edilen ekstraktların marul kök uzunluğu ( $t=18,16$ ), gövde uzunluğu ( $t=6,78$ ), yaş ağırlığı ( $t=5,88$ ) ve kuru ağırlığı ( $t=3,58$ ) üzerine allelopatik etkisinin  $24^\circ\text{C}$  göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Tablo 3).

Tablo 2. 24 °C ve 80 °C'deki Kırmızı hevulma ekstraktlarının marul fide gelişimi üzerine etkisi

Ekstraktlar	Kök Uzunluğu (cm)				Gövde Uzunluğu (cm)				Yaş Ağırlık (g)				Kuru Ağırlık (g)				
	Konsantrasyon (g/100 ml)				Konsantrasyon (g/100 ml)				Konsantrasyon (g/100 ml)				Konsantrasyon (g/100 ml)				
	Kontrol	0.5 g	1.0 g	5.0 g	Kontrol	0.5 g	1.0 g	5.0 g	Kontrol	0.5 g	1.0 g	5.0 g	Kontrol	0.5 g	1.0 g	5.0 g	
24°C	Kök		6,60 ab	6,27 ab	5,98 b		0,20 b	0,19 bc	0,17 c		0,463 a	0,410 a	0,340 a		0,025 a	0,024 a	0,018 a
	Gövde	7,50 a	7,47 a	6,66 b	1,60 c	0,25 a	0,24 ab	0,24 ab	0,19 b	0,504 a	0,450 a	0,440 a	0,430 a	0,025 a	0,025 a	0,024 a	0,024 a
	Yaprak		3,15 b	2,78 b	0,00 c		0,20 b	0,17 b	0,00 c		0,500 a	0,490 a	0,000 b		0,024 a	0,024 a	0,000 b
80°C	Kök		4,48 b	2,70 c	0,76 d		0,21 b	0,19 b	0,11 c		0,380 b	0,270 c	0,040 d		0,023 b	0,020 c	0,000 d
	Gövde	10,00 a	4,22 b	1,92 c	0,70 d	0,66 a	0,22 b	0,16 c	0,11 d	0,480 a	0,390 ab	0,310 b	0,070 c	0,025 a	0,023 b	0,021 c	0,011 d
	Yaprak		2,39 b	1,62 c	0,00 d		0,17 b	0,15 b	0,00 c		0,250 b	0,140 c	0,000 d		0,017 b	0,014 c	0,000 d

\* Aynı sütunda farklı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir (Tukey HSD; p < 0.05).

Tablo 3. Sıcaklığa bağlı olarak ekstratların marul kök ve gövde uzunluğu ile yaş ve kuru ağırlık üzerine etkisinin karşılaştırılması

	Kök Uzunluğu* (cm)	Gövde Uzunluğu (cm)	Yaş Ağırlık (g)	Kuru Ağırlık (g)
24 °C	5,94 ± 0,12(**)	0,21 ± 0,004(**)	0,47 ± 0,031(**)	0,023 ± 0,0016(**)
80 °C	2,58 ± 0,14	0,17 ± 0,004	0,21 ± 0,031	0,015 ± 0,0016

(\*) Ort ± SE, (\*\*) t (p < 0,05).

### 3.2. Tartışma

Çalışmada elde edilen bulgulara göre, kırmızı hevhulma ekstratları marul bitkisinin tohumlarındaki çimlenme yüzdesi üzerinde negatif etki yapmıştır. Ashrafi ve ark. (2008) yapmış oldukları çalışmalarında, ayçiçeğinin (*Helianthus annuus*) yüksek ekstrakt konsantrasyonlarının (4-20 g) yabancı arpa'da (*Hordeum spontaneum*) çimlenmeyi önlediğini ortaya koyarak, tüm konsantrasyonlardaki yaprak ekstratlarında yüksek allelopatik etki olduğu ve bunun bitkilerinde çimlenme oranını düşürücü etki yaptığını göstermişlerdir. Yine, Al-Sherif ve ark. (2013) yapmış oldukları çalışmalarında, *Phalaris paradoxa* ve *Sisymbrium irio* tohumlarındaki çimlenmenin *Brassica nigra*'dan hazırlanan ekstrakt konsantrasyonu artışına bağlı olarak azaldığını ve yüksek ekstrakt konsantrasyonunda ise çimlenmenin tamamen inhibe olduğunu ortaya koymuşlardır. Barkatullah ve ark. (2010) ise *Dodonaea viscosa* bitkisindeki farklı organlardan hazırlanan sıcak su ekstratlarının (100 ml saf suda kaynatılmış) *Pennisetum americanum* ve *Sorghum vulgare* tohumlarında çimlenmeyi engellediğini bildirmişlerdir. Siddiqui ve arkadaşlarının (2009) yapmış oldukları çalışmada, *Prosopis juliflora*'nın sulu yaprak ekstraktının konsantrasyonu arttıkça *Triticum aestivum* var-Lok. tohum çimlenme yüzdesi azalttığı belirtilmiş olup, hem tohum çimlenmesi ve hem de kök uzunluğu sonuçları, inhibitör etkinin özüt konsantrasyonu ile orantılı olduğunu göstermişlerdir.

Çalışmamızda, farklı konsantrasyonlarda (0; 0,5; 1 ve 5 g) ve sıcaklıklarda (80 °C ve 24 °C) ekstraksiyonu yapılan kırmızı hevhulma kök, gövde ve yapraklarının allelopatik potansiyeli araştırılmış; bunlardan, 24 ve 80 °C'deki kırmızı hevhulma ekstratlarının marulda fide gelişimine istatistiksel olarak önemli etki yaptığı saptanmıştır. Nitekim kırmızı hevhulma ekstrakt konsantrasyonu arttıkça, 80 °C'de hazırlanan ekstratların marulda büyüme parametreleri üzerine olan engelleyici etkinin, 24 °C'de hazırlanlara göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

*Dodonaea viscosa* bitki kısımlarından elde edilen sıcak su ekstratlarının soğuk su ekstratlarına göre, *Pennisetum americanum* ve *Sorghum vulgare* türlerinin çimlenme ve fide büyümesini önemli ölçüde inhibe ettiğini Barkatullah ve ark. (2010) yapmış oldukları çalışmada bildirmişlerdir. Bazı araştırmacılara göre, otoklavlama ya da kaynatmanın ekstrakt aktivitesini arttırdığı (Guenzi ve Mccalla, 1962; Jensen ve ark., 1984; Roy ve ark., 2006; Ehsan ve ark., 2011) bazı araştırmacılara göre de düşürdüğü bildirilmektedir (Siegel, 1950; Jensen ve ark. 1984; Ahn ve Chung, 2000). Isı ekstraksiyonu ve kaynatma gibi yöntemlerle elde edilen ekstratlar, oda sıcaklığında elde edilenlere göre daha çok allelopatik bileşen içermektedir (Barkatullah ve ark. (2010). Çalışmamızda artan sıcaklık ve konsantrasyona bağlı olarak marul fide gelişiminin azalması, yapılan diğer çalışmalarla paralellik göstermektedir (Batish ve ark. 2007; Wu ve ark. 2009; Cruz-Silva ve ark. 2015).

Ayrıca, Kırmızı hevhulma bitkisinden hazırlanan kök, gövde ve yaprak sulu ekstratları kendi içinde karşılaştırıldığında, yaprak ekstratlarının yüksek konsantrasyonlarda marul fide gelişimini engelleyici etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Akın ve ark. (2017) çalışmalarında kırmızı hevhulma bitki kısımlarından (kök, gövde, yaprak) hazırladıkları çürüme ekstratlarının maruldaki fide gelişimine etkisini karşılaştırmışlar ve yapraktan hazırlanan ekstraktın daha çok zehir etkisi gösterdiğini bildirmişler. Benzer şekilde, Wu ve ark (2009) *Mikania micrantha* yaprak ve köklerinden elde ettikleri ekstratların, odunsu bitki türlerine önleyici etkide bulunduğu ve allelopatik aktivitenin ekstrakt konsantrasyonu ile kaynağına (ör. yaprak yada kök) göre değiştiğini belirterek; yaprak ekstratlarının, kök ekstratlarına göre çimlenme oranı ve hızı ile sürgün uzunluğu gibi tarımsal özelliklere güçlü allelopatik etkiler yaptığını saptamışlardır. Bebel ve Bebel (2015) yaptıkları çalışmada, *Cyperus tuberosus*'un yaprak ekstraktının tohum ekstraktına göre, *Vigna unguiculata* tohum çimlenmesi üzerine daha fazla allelopatik etkiye sahip olduğunu göstermişlerdir. Ulaştığımız sonuçlar, Tefera (2002), Terzi (2008), Suwal ve ark. (2010), Bahuguna ve ark. (2014) ve Akın ve ark. (2017) ile de benzerlik göstermektedir.

Bitkide sentezlenen allelokimyasalların fizyolojik rolleri tam olarak belirlenememiş olmakla birlikte (Rice, 1979), allelokimyasalların bitkiler üzerindeki etkileri genellikle olumsuzken, nadiren de olsa bu etkileri olumlu yönde de olabilmektedir (Kocaçalışkan ve Terzi, 2001; Akın ve Kocaçalışkan, 2016). Bu çalışmanın sonuçları kırmızı hevhulma ekstratlarının marulda çimlenme ve fide gelişimine etkisinin konsantrasyona ve sıcaklığa bağlı olarak değiştiğini göstermiştir. Ayrıca kırmızı hevhulma ekstratlarının, suda çözünebilir ve marulda fide gelişimini engelleyici etkisi olan allelokimyasallar içerebileceğini yaptığımız çalışma ile ortaya konulmuştur. Öte yandan, bitkinin Kuzey Amerika'nın sulak alanlarında tek tür olması ve sulak alanlarda gelişebilen diğer bitki türlerinin yayılışlarını sınırlandırarak doğal habitatı tehdit etmesi, bu alanlarda doğal olarak yayılış gösteren bitki türlerinin kırmızı hevhulma ile rekabet edememesinin nedenleri arasında bitkinin allelopatik etkisi de göz önünde tutulmalıdır. Bu çalışmamız kırmızı hevhulma'nın allelopatik etkisi üzerine yapılacak olan diğer çalışmalara temel teşkil edecektir.

### 4. Sonuç

Bu çalışmanın sonuçları kırmızı hevhulma ekstratlarının marulda çimlenme ve fide gelişimine etkisinin konsantrasyona ve sıcaklığa bağlı olarak değiştiğini göstermiştir. Ayrıca kırmızı hevhulma ekstratlarının, suda çözünebilir ve marulda fide gelişimini



engelleyici allelokimyasallar içerebileceği yaptığımız çalışma ile ortaya konulmuştur. Öte yandan, bitkinin Kuzey Amerika'nın sulak alanlarında tek tür olması ve sulak alanlarda gelişebilen diğer bitki türlerinin gelişmesini sınırlandırarak doğal habitatı tehdit etmesi, bu alanlarda doğal olarak yayılış gösteren bitki türlerinin kırmızı hevulma ile rekabet edememesinin nedenleri arasında bitkinin allelopatik etkisi de göz önünde tutulmalıdır. Bu çalışmamız kırmızı hevulma'nın allelopatik etkisi üzerine yapılacak olan diğer çalışmalara temel teşkil edecektir.

## Teşekkür

Bu çalışma Kütahya Dumlupınar Üniversitesi BAP (2013/42) yönetim birimi tarafından desteklenmiştir.

## Kaynakça

- Ahn, J.K., & Chung, M.I. (2000). Allelopathic potencial of rice hulls on germination and seedling growth of barnyardgrass. *Agronomy Journal*, 92, 1162-1167. doi:/10.2134/agronj2000.9261162x
- Akamil, N. (2002). *Batı Anadolu'da Yayılış Gösteren Lythrum salicaria L. (Lythraceae)'nın Taksonomik ve Ekolojik Özellikleri* (Doktora tezi). Anadolu Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir
- Akın, B., & Kocaçalışkan, İ. (2016). Effect of juglone on seed germination and seedling growth of endemic species *Aubrieta olympica* Boiss. and *Arabis drabiformis* Boiss. in tissue culture conditions. *Phyton (Annales rei botanicae)*, 56, 121-128
- Akın, B., Bingöl, N., & Leblebici, S. (2017). *Lythrum salicaria* L. ekstraktlarının marul tohumlarının çimlenmesi ve fide gelişimi üzerine allelopatik etkisi. *Akademia Disiplinlerarası Bilimsel Araştırmalar Dergisi*, 3, 23-30
- Al-Sherif, E., Hegazy, A.K., Gomaa, N.H., & Hassan, M.O. (2013). Allelopathic effect of black mustard tissues and root exudates on some crops and weeds. *Planta Daninha*, 31, 11-19. doi:/10.1590/S0100-83582013000100002
- Ashrafi, Z.Y., Sadeghi, S., Mashhadi, H.R., & Hassan, M.A. (2008). Allelopathic effects of sunflower (*Helianthus annuus*) on germination and growth of wild barley (*Hordeum spontaneum*). *Journal of Agricultural Technology*, 4(1), 219-229
- Bahuguna S., Bahuguna, A., Prasad, B., & Singh, N. (2014). Seed germination and seedling growth of wheat and barley influenced by the allelopathic effect of walnut (*Juglans regia* L.) leaf extracts under mid hills of uttarakhand agri-silvi syste. *Asian Journal of Agricultural Research*, 8, 164-169. doi:/10.3923/ajar.2014.164.169
- Barbehenn, R.V., & Constabel, C.P. (2011). Tannins in plant-herbivore interactions. *Phytochemistry*, 72(13), 1551-1565. doi:/10.1016/j.phytochem.2011.01.040
- Barkatullah, Hussain, F., & Ibrar, M. (2010). Allelopathic potential of *Dodonaea viscosa* (L.) jacq. *Pakistan Journal of Botany*, 42(4), 2383-2390
- Batish, D., Lavanya, K., Singh, H., & Kohli, R. (2007). Phenolic allelochemicals released by *Chenopodium murale* affect the growth, nodulation and macromolecule content in chickpea and pea. *Plant Growth Regulation*, 51(2), 119-128. doi:/10.1007/s10725-006-9153-z
- Belel, M.D., & Belel, R.D. (2015). Allelopathic effect of leaf and seed extract of nutgrass (*Cyperus tuberosus*) on the germination of beans (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). *Cogent Food & Agriculture*, 1, 1102036. doi: /10.1080/23311932.2015.1102036.
- Cruz-Silva, C.T.A., Nasu, E.G.C., Pacheco, F.P., & Nobrega, L.H.P. (2015). Allelopathy of *Bidens sulphurea* L. aqueous extracts on lettuce development. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 17(4), 679-684. doi: /10.1590/1983-084X/14\_09
- Davis, P.H. (1965-1988). *Flora of Turkey and East Egean Islands*. University Press, UK: Edinburg.
- Ehsan, M., Ibrar, M., Ali, N., & Mubarak, S.S. (2011). Laboratory experiment to test *Papaver pavoninum* Fisch. and C. A. Mey. allelopathic effect against test species maize and brassica. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 1(5), 49-56
- Gopal, B., & Goel, U. (1993). Competition and allelopathy in aquatic plant communities. *Botanical Review*, 59, 155-210. doi: /10.1007/BF02856599
- Guenzi, W.D., & Mccalla, T.M. (1962). Inhibition of germination and seedling development by crop residues. *Soil Science Society of America Proceedings*, 26(5), 456-458. doi:/10.2136/sssaj1962.03615995002600050015x
- Humadi, S.S., & Istudor, V. (2009). *Lythrum salicaria* (purple loosestrife) medicinal use, extraction and identification of its total phenolic compounds. *Farmacia*, 57(2), 192-200.
- Jensen, E.H., Meyers, K.D., Jones, C.L., & Leedy, C.D. (1984). Effect of alfalfa foliage and alfalfa soil extracts on alfalfa seedling vigor. *Report of the Twenty-Ninth Alfalfa Improvement Conference*. July 15-20, Lethbridge, Alberta, 38.
- JMP SAS. (1995). *SAS Institute Inc.* USA: North Carolina.
- Kim, J., & Rejmánková, E. (2001). The paleoecological record of human disturbance in wetlands of the lake tahoe basin. *Journal of Paleolimnology*, 25(4), 437-454. doi:/10.1023/A:1011176018331
- Kocaçalışkan, İ. (2006). *Allelopati*. Bizim Büro Yayınevi, Kütahya.
- Kocaçalışkan, İ., & Terzi, İ. (2001). Allelopathic effects of walnut leaf extracts and juglone on seed germination and seedling growth. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 76 (4), 436-440. doi:/10.1080/14620316.2001.11511390
- Mammadov, R. (2014). *Tohumlu Bitkilerde Sekonder Metabolitler*. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.
- Mitsch, W., & Gosselink, J.G. (2000). *Wetlands* (3<sup>rd</sup> edition). John Wiley & Sons, Newyork.
- Rice, E.L. (1979). Allelopathy-an update. *The Botanical Review*, 45(1), 15-109. doi:/ 10.1007/BF02869951
- Rizvi, S.J.H., & Rizvi, V. (1992). *Allelopathy: Basic and Applied Aspect*. Chapman and Hall, London.
- Roy, B., Alam, M.R., Sarker, B.C., Rahman, M.S., Islam, M.J., Hakim, M.A., & Mahmood, R.I. (2006). Effect of aqueous extracts of some weeds on germination and growth of wheat and jute seeds with emphasis on chemical investigation. *Journal of Biological Sciences*, 6 (2), 412-416. doi:/10.3923/jbs.2006.412.416
- Siddiqui, S., Bhardwaj, S., Khan, S.S., & Meghvanshi, M.K. (2009). Allelopathic effect of different concentration of water extract of *Prosopis juliflora* leaf on seed germination and radicle length of wheat (*Triticum aestivum* Var-Lok-1). *American-Eurasian Journal of Scientific Research*, 4(2): 81-84.

- Siegel, S.M. (1950). Germination and growth inhibitors from red kidney bean seed. *Botanical Gazette*, 111(3), 353-356. doi:/10.1086/335604
- Stevens, K.J., Peterson, R.L., & Stephenson, G.R. (1997). Morphological and anatomical responses of *Lythrum salicaria* L. (purple loosestrife) to an imposed water. *International Journal of Plant Sciences*, 158(2), 172-183. doi:/10.1086/297428
- Suwal, M.M., Devkota, A., & Lekhak, H.D. (2010). Allelopathic effects of *Chromolaena odorata* (L.) King & Robinson on seed germination and seedlings growth of paddy and barnyard grass. *Scientific World*, 8(8), 73-75. doi:/10.3126/sw.v8i8.3854
- Tefera, T. (2002). Allelopathic effects of *Parthenium hysterophorus* extracts on seed germination and seedling growth of *Eragrostis tef*. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 188, 306-310. doi:/10.1046/j.1439-037X.2002.00564.x
- Terzi, İ. (2008). Allelopathic effects of juglone and decomposed walnut leaf juice on muskmelon and cucumber seed germination and seedling growth. *African Journal of Biotechnology*, 7(12), 1870-1874.
- Thompson, D.Q., Stuckey, R.L., & Thompson, E.B. (1987). *Spread, Impact And Control of Purple Loosestrife (Lythrum salicaria) in North American Wetlands*. Washington, DC: Springfield, VA: U.S.
- Wu, A.-P., Yu, H., Gao, S.-Q., Huang, Z.-Y., He, W.-M., Miao, S.-L., & Dong, M. (2009). Differential belowground allelopathic effects of leaf and root of *Mikania micrantha*. *Trees*, 23(1), 11-17. doi:/10.1007/s00468-008-0249-0



# TR62 (Adana–Mersin) Bölgesinde Alternatif Yakıtlı Otomobil Satın Alma İstekliliğinin İncelenmesi

Seda Şengül<sup>1\*</sup>, Sezin Pusa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Çukurova Üniversitesi, İİBF, Ekonometri Bölümü, Adana, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5648-3270)

<sup>2</sup> Çukurova Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Adana, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5304-4697)

(İlk Geliş Tarihi 23 Eylül 2019 ve Kabul Tarihi 22 Ekim 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.623492)

**ATIF/REFERENCE:** Şengül, S., & Pusa, S. (2019). TR62 (Adana–Mersin) Bölgesinde Alternatif Yakıtlı Otomobil Satın Alma İstekliliğinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 297-305.

## Öz

Çevre sorunlarının ve iklim değişikliğinin artması ile tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de alternatif yakıtlı araçların kullanımı artmıştır. Elektrik ve hibrit otomobil kullanımının yaygınlaşması ile uluslararası literatürde bu konuyla ilgili çalışmalarda da önemli artışlar olmuştur. Türkiye genelinde alternatif yakıtlı otomobillerle ilgili ekonometrik çalışmaya uygun yeterli verinin olmaması, zaman ve maliyet gibi kısıtlardan dolayı veri toplamanın da zor olması nedeniyle, çalışmanın kapsamı, TR 62 Bölgesi illeri olan Adana ve Mersin’in kent merkezleriyle sınırlandırılmıştır. Çalışmanın verileri Adana-Mersin Bölgesi’nde ikamet eden bireylere yapılan anketlerden elde edilmiştir. Analiz yapılan anket sayısı 563’tür. Bu çalışmada; yaş, cinsiyet, eğitim ve gelir gibi değişkenlerinin, alternatif yakıtlı otomobillerin yakıt kullanımının azalması, karbondioksit salınımının azalması, alternatif yakıtlı araçların satın alınmasını sağlaması için devlet teşviki verilmesi gibi çevreye duyarlılığı ölçmeye yönelik değişkenlerin, bireylerin alternatif yakıtlı otomobil tercih etme olasılıklarını nasıl etkilediğini belirlemek amaçlanmıştır. Çalışmanın bağımlı değişkeni birey alternatif yakıtlı otomobil satın alma istekliliğine sahipse 1, birey alternatif yakıtlı otomobil satın alma istekliliğine sahip değilse 0 değerini almaktadır. Bağımlı değişken iki değerli olduğundan çalışmanın modeli olarak logit model seçilmiştir. Logit modeli en çok olabilirlik tahminciyle tahmin edilmiştir. Çalışmada alternatif yakıtlı araç satın alma istekliliğinin en önemli belirleyicilerinin gelir, eğitim ve yakıt maliyetinin azalması olduğu saptanmıştır. Bireylerin gelirlerinde artış olması ve bireyin öğrenim düzeyinin üniversite olması alternatif yakıtlı otomobil satın alma olasılığını artırmaktadır. Hanedeki birey sayısında artış olması durumunda ise alternatif yakıtlı otomobil satın alma olasılığında düşüş olmaktadır. Adana-Mersin bölgesinde yaşayan bireylerin alternatif yakıtlı lüks araç tipine göre alternatif yakıtlı mini araç satın alma olasılıkları düşük iken, alternatif yakıtlı orta tip ve Suv tipi otomobil satın alma olasılıkları ise daha yüksektir.

**Anahtar Kelimeler:** Alternatif Yakıtlı Otomobil, Logit Model, Adana, Mersin

## Abstract

The use of alternative fuel vehicles has increased all over the world due to the increase in environmental problems and climate change. Likewise, in Turkey also increased the use of alternative fuel vehicles with the widespread use of electricity and hybrid automobiles, there has been a significant increase in studies on this subject in the international literature. No studies on alternative fuel vehicles in Turkey called to the less. The reason for this is that the subject is new and there is not enough data of econometric studies on alternative-fuel vehicles in Turkey. In general collecting data is very difficult because of constraints such as time and cost. For this reason, the extent of this study is limited to the urban centers of Adana and Mersin's province called TR-62 region. The data of the study were obtained from the questionnaires conducted to individuals living in TR62 region. The number of surveys was 563. In this study; It is aimed to determine how variables such as age, gender, education and income, decreasing fuel consumption of alternative fueled cars, decreasing carbon dioxide emission, and giving government incentives to purchase alternative fueled vehicles affect the possibilities of individuals to choose alternative fueled cars. The dependent variable of the study is 1 if the individual is willing to buy alternative fueled cars and 0 if the individual is not willing to buy alternative fueled cars. Since the dependent variable has two values, the logit model was chosen as the model of the study. The Logit model was estimated by the maximum likelihood. In the study, the most important determinants of willingness to buy alternative fuel vehicles were found to be the decrease in income, education and fuel costs. The increase in individuals' income and the level of education of the individual increases the likelihood of buying alternative fueled cars. In case of an increase in the number of individuals in the household, there is a decrease in the possibility of buying alternative fueled cars. Individuals living in

\* Sorumlu Yazar: Çukurova Üniversitesi, İİBF, Ekonometri Bölümü, Adana, Türkiye, ORCID: 0000-0002-5648-3270, [ssengul@cu.edu.tr](mailto:ssengul@cu.edu.tr)

the Adana-Mersin region are less likely to purchase alternative fueled mini-vehicles than the alternative fueled luxury vehicles, while the possibility of purchasing alternative fueled medium-type and SUVs is higher than alternative fueled luxury vehicles in TR 62 regions.

KeyWords: Alternative fuel vehicle, Logit Model, Adana, Mersin

## 1. Giriş

Dünya atmosferi çeşitli gazlardan oluşmaktadır. Güneşten gelen ışınlar (ısı ışınları, kısa dalgalı ışınlar) atmosferi geçerek yeryüzünü ısıtmaktadır. Atmosferdeki gazlar yeryüzündeki ısının bir kısmını tutmaktadır ve yeryüzünün ısı kaybına engel olmaktadır (karbondioksit (CO<sub>2</sub>) havada en çok ısı tutma özelliği olan gazdır). Son yıllarda atmosferdeki CO<sub>2</sub> miktarı hava kirlenmesine bağlı olarak hızla artmaktadır. Metan, ozon ve kloroflorokarbon (CFC) gibi sera gazları çeşitli insan aktiviteleri ile atmosfere katılmaktadır. Bu gazların tamamının ısı tutma özelliği vardır. CO<sub>2</sub> ve ısıyı tutan diğer gazların miktarındaki artış, atmosferdeki ısının yükselmesine sebep olmaktadır. Bu da küresel ısınma olarak ifade edilmektedir. Bu durumun, buzulların erimesi ve okyanusların yükselmesi gibi ciddi sonuçlar doğuracak iklim değişmelerine yol açmasından endişe edilmektedir. Atmosferde, ozonun (O<sub>3</sub>) yoğunluğunu azaltan kloroflorokarbon (CFC) gazları ve karbondioksit (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), diazot monoksit (N<sub>2</sub>O) gibi sera gazlarının miktarlarında önemli ölçüde artışlar olmuştur. Bu artışlardan dolayı atmosferde kuvvetlenen sera işlemleri, beraberinde günümüzdeki küresel ısınma ve küresel iklim değişimi problemlerini ortaya çıkarmaktadır. İklim değişikliğinin dünya genelindeki olumsuz etkilerinin oldukça yüksek olacağı öngörülmektedir. Bu olumsuzluklar, hazırlanan çeşitli senaryolara göre Türkiye'nin de içinde bulunduğu enlemlerde, sıcaklıklardaki artışların; yağış rejiminde değişimler, deniz suyu seviyesinde yükselmeler ve toprak su içeriğinde önemli azalmalar şeklinde olacağı tahmin edilmektedir (Şengül, 2013).

Türkiye, 1999 yılına ilişkin temel CO<sub>2</sub> göstergeleri açısından dünya ülkeleri arasında toplam CO<sub>2</sub> emisyonunda 23'üncü, kişi başına CO<sub>2</sub> emisyonu açısından 75'inci, CO<sub>2</sub> emisyonunun gayri safi yurtiçi hasılaya (GSYİH) oranında 60'ıncı sırada yer almaktadır. Türkiye 1998 yılında iklim değişikliği raporu hazırlamış, linyit ve taşkömüründen doğal gaz geçerek CO<sub>2</sub> emisyonlarının artış hızını azaltmıştır. Ayrıca, 1997 Kyoto Protokolü, İklim Değişikliği hakkında ve 1998 Aarhus Sözleşmesi, çevresel bilgiye erişim hakkındaki konuların dışında çevre konusundaki önemli tüm sözleşme ve protokolleri imzalamış ve bu sözleşmelerin TBMM'de onaylamasını sağlamıştır. Bu kapsamda, on sekiz civarında uluslararası sözleşme onaylanmıştır. Türkiye'nin bu duyarlılığı OECD'nin Çevresel Başarı Raporu'na yansımıştır (Özmen, 2009, s.45).

İklim değişikliği, çevreye duyarlılık ve enerji güvenliği ile ilgili endişeler çevre dostu teknolojilerin gelişmesine neden olmuş, daha yeşil ve sorunsuz bir çevre ayrıca çevreyi olumsuz etkileyecek gazlardan uzak durmak için birçok alanda çalışmalar yapılmıştır. Bu nedenle içten yanmalı motorlu araçlara kıyasla sera gazını, karbondioksit gazını ve emisyonlarını azaltan elektrik, hibrit ve pil gibi alternatif yakıt kullanan otomobillere ilgi artmış ve bu otomobiller pazar piyasasına girmeye başlamıştır. ABD'de, Avrupa ülkelerinde ve Japonya'da alternatif (elektrik, hibrit) yakıtlı otomobillerin tüketimini özendirmek için alıcı ve satıcılara vergi indirimi vb. destekler sağlamaktadır. ABD'de 2009 yılı Amerikan Geri Kazanma ve Yeniden Yatırım Yasası, elektrikli araçlar için 2500 ila 7500 ABD doları arasında vergi kredisi sağlayan, tüketici vergisi teşviklerini uzatmıştır. İngiltere'de elektrikli otomobil için 2011'de satın alanlar 2000 ila 5000 libre arasında değişen bir indirim hak kazanabilmişlerdir (Ito, Takeuchi ve Managi, 2012). Türkiye'de de elektrik ve hibrit yakıtlı otomobillerin alımını teşvik etmek amacıyla özel taşıt vergisi indirimi adı altında destek sağlanmıştır. Elektrikli otomobilde, aracın kilovat cinsinden motor gücüne bağlı olarak farklı oranlarda vergiler uygulanmıştır. Örneğin, ÖTV'si %45 olan 1600 cc altındaki normal bir otomobilin, yine aynı güce denk gelen elektrikli bir otomobille karşılaştırıldığında ÖTV'si %3 oranındadır. 85-120 kilovat arası %7, 120 kilovat üstü için de %15 şeklinde üç ayrı vergilendirme dilimi oluşturulmuştur. Dolayısıyla bugün, 2000 cc üstü bir otomobile yaklaşık %145 ÖTV ödenirken aynı güçteki elektrikli otomobilde bu oran sadece %15'tir (TEHAD, 2016). Türkiye'de son yıllarda özel vergi indirimleriyle elektrikli otomobillerin alımının teşvik edilmesine karşın, bu teşvik ABD ve Avrupa Birliği ülkeleriyle kıyaslandığında son derece düşüktür. Bu tür otomobiller geleneksel otomobillere göre daha farklı özelliklere sahip olduklarından fiyatları daha yüksektir ve bu otomobilleri satın alabilecek müşterilerin özelliklerinin de geleneksel otomobilleri satın alan müşterilerin özelliklerinden farklı olması beklenmektedir. Uluslararası yazında konuyla ilgili çok çalışma yapılmışken (Dreyfus, 1995; Musardo, 2003; Blomquist, 2004; Andriosopoulos, 2018), Türkiye'de alternatif yakıtlı otomobil piyasası çok yeni olduğundan konuyla ilgili çalışmalar çok azdır (Aydemir, 2014 ve Kerem, 2014). Bu çalışmada cinsiyet, eğitim, meslek ve gelir gibi değişkenlerin yanı sıra yakıt kullanımındaki, karbondioksit salınımındaki azalma, devlet teşviki gibi çevreye duyarlılığı ölçmeye yönelik değişkenlerin bireylerin alternatif yakıtlı araç tercih etme olasılıklarını belirlemek amaçlanmıştır. Türkiye genelinde veri toplama zor olduğundan çalışmanın kapsamı TR62 (Adana-Mersin) Bölgesi olarak sınırlandırılmıştır.

Bu çalışmanın önemi Adana-Mersin Bölgesinde, tüketicilerin alternatif yakıtlı otomobil satın alma olasılığını belirleyerek, özelde Adana-Mersin Bölgesinde, genelde Türkiye'de alternatif yakıtlı otomobillerin potansiyel talebini artırmaya yönelik politikalarının oluşturulmasına katkı sağlayacak olmasından kaynaklanmaktadır.

Bu çalışmanın ikinci bölümde çalışmanın anketi, anketten elde edilen verilerin özelliği ve çalışmada uygulanan ekonometrik model tanıtılmıştır. Üçüncü bölümde modelde kullanılan değişkenler, değişkenlerin özellikleri ve araştırma bulguları sunulmuştur. Son bölüm sonuç bölümü olup araştırma bulgularından elde edilen çıkarımlar verilmiş, alternatif yakıtlı araç kullanımını artırmak için politika önerilerinde bulunulmuştur.

## 2. Materyal ve Metot

## 2.1. Çalışmanın Anketi

Türkiye genelinde elektrik ve hibrit yakıtlı araç kullanımıyla ilgili sınırlı veri olması nedeniyle çalışmanın verileri anket yoluyla toplanmıştır. Nüfus, coğrafya, bölgesel kalkınma planları, temel istatistik göstergeler, illerin sosyoekonomik gelişmişlik sıralaması kriterleri göz önüne alınarak Türkiye’de 12 tane Düzey 1, 26 tane Düzey 2 ve 81 tane Düzey 3 bölgesi tanımlanmıştır. Düzey 2 sınıfları, TR10, TR21, TR22, TR31, TR32, TR33, TR41, TR42, TR51, TR52, TR61, TR62, TR63, TR71, TR72, TR81, TR82, TR83, TR90, TRA1, TRA2, TRB1, TRB2, TRC1, TRC2, TRC3’tür. Aralık 2018-Şubat2019 tarihleri arasında rassal seçilen 600 bireyden toplanmıştır. Ancak eksik veri, hatalı veri vb. nedenlerden dolayı analizler 563 veri ile yapılmıştır. Bu ankette toplam geliri, toplam tüketim harcaması, hanehalkı büyüklüğü, hanede yaşayan bireylerin cinsiyeti, yaşı, çalışma alanı, mesleği, otomobil sahipliği, otomobilin tipi, yakıt için yapılan harcama, sahip olunan otomobilin yakıt tipi, alternatif yakıtlı otomobil satın alma istekliliği, alternatif yakıtlı otomobil satın almayı isteme nedenleri vb. değişkenler yer almaktadır.

## 2.2. Ankettten Sağlanan Verilerinin Özelliği

Adana-Mersin illerinde alternatif yakıtlı araç kullanımıyla ilgili anket yapılan ankettten sağlanan değişkenlerin özet istatistikleri tablolar halinde sunulmuştur. Tablo 1’de Adana-Mersin illerinde alternatif yakıtlı araç kullanımıyla ilgili anket yapılan bireylerin sosyo-demografik özelliklerinin frekans tablosu verilmiştir.

**Tablo 1. Adana-Mersin Bölgesinde Anket Yapılan Bireylerin Sosyo-Demografik Özellikleri**

Değişkenler	Tanım	Frekans (%)
<b>Cinsiyet</b>	<i>Kadın</i>	69.98
	<i>Erkek</i>	30.02
<b>Eğitim</b>	<i>Okur-yazar değil, diplomasız okur-yazar</i>	0.18
	<i>İlkokul, ilköğretim, ortaokul, orta dengi meslek okulu</i>	7.99
	<i>Lise, lise dengi meslek</i>	17.94
	<i>İki yıllık yüksekokul, dört yıllık yüksekokul, fakülte, master, doktora</i>	73.89
	<b>Çalışma Alanı</b>	<i>Ücretli</i>
	<i>Maaşlı</i>	61.28
	<i>Yevmiyeli</i>	0.71
	<i>Kendi Hesabına</i>	4.44
	<i>İşveren</i>	12.08
	<i>Ücretsiz aile işçisi</i>	20.25
<b>Meslek</b>	<i>Emekli</i>	7.28
	<i>Memur</i>	20.96
	<i>İşçi</i>	8.88
	<i>Esnaf</i>	9.24
	<i>Ev hanımı</i>	6.22
	<i>İş adamı</i>	4.80
	<i>Kariyer Meslek (Avukat, Doktor, Mühendis, Yönetici),</i>	25.58
	<i>Öğrenci</i>	11.72
	<i>İşsiz</i>	2.84
	<i>Diğer</i>	2.49
	<b>Ortalama</b>	<b>Std. Sapma</b>
<b>Yaş</b>	37.696	11.874

Tablo 1 incelendiğinde ankete katılanların %69.98’inin kadın, %30.02’sinin erkek olduğu görülmektedir. Bireylerin eğitim durumlarına bakıldığında ise %73.89’yüksek öğrenim düzeyine, %17.94’ü lise, lise dengi meslek okul öğrenim düzeyine, %7.99’u ise ilkokul, ortaokul öğrenim düzeyine sahiptir.

Bireylerin %61.28’i maaşlı, %20.25’i ücretsiz aile işçisi, %12.08 işveren, %4.44’ü kendi hesabına, %1.24’ü ücretli, %0.71’i yevmiyeli olarak çalışmaktadır. TR 62 bölgesinde bireylerin %25.58’si kariyer meslek sahibi, %20.96’sı memur, %11.72 öğrenci, %9.24’ü esnaf, %8.88’i işçi, %7.28’i emekli, %6.22’si ev hanımı, %4.80’i iş adamı, %2.84’ü işsizdir ve yaş ortalamaları yaklaşık olarak 37’dir.

Tablo 2’de Adana-Mersin Bölgesinde anket yapılan bireylerin otomobil ile ilgili frekans tablosu sunulmuştur.



Tablo 2. Adana-Mersin Bölgesinde Anket Yapılan Bireylerin Otomobilleri ile ilgili Frekans Tablosu

Değişkenler	Seçenekler	Frekans (%)
<b>Otomobil</b>	<i>Otomobili olanlar</i>	70.87
	<i>Otomobili olmayanlar</i>	29.13
<b>Otomobil Tipi</b>	<i>Mini/küçük araçlar</i>	12.78
	<i>Orta/geniş araçlar</i>	72.43
	<i>SUV/Crossover araçlar</i>	8.52
	<i>Üst sınıf/lüks/spor araçlar</i>	6.27
<b>Yakıt Tipi</b>	<i>Benzin/LPG</i>	40.60
	<i>Dizel</i>	59.40
<b>Araba Alma Nedeni</b>	<i>Eskisinin yerine</i>	54.39
	<i>Ek olarak bir araba daha</i>	17.54
	<i>İlk araba</i>	28.07
<b>Sürüş Aralığı</b>	<i>&lt;=50 km</i>	60.65
	<i>51-100 km arası</i>	31.83
	<i>101-150 km arası</i>	6.77
	<i>151-200 km arası</i>	0
	<i>&gt;=201 km</i>	0.75

TR 62 Bölgesinde bireylerin %70.87'sinin otomobilinin olduğu, %29.13'ünün otomobilinin olmadığı belirlenmiştir. Otomobili olanların %12.78'inin otomobili mini/küçük otomobil grubunda, %72.43'ünün otomobili ise orta/geniş otomobil grubunda yer almaktadır. Otomobil sahibi olan bireylerin %59.40'ının otomobili dizel yakıtlı iken, %40.60'ının otomobili benzinli ya da LPG yakıtlıdır. Bireylerin en son satın aldıkları otomobili satın alma nedenleri incelendiğinde bireylerin %54.59'u eski otomobillerini değiştirdiklerini, %28.07'si kullandıkları otomobilin ilk otomobilleri olduğunu, %17.54'ü ise bir otomobillerinin olduğunu ek bir otomobil daha satın aldıklarını ifade etmişlerdir. Bireylerin günlük otomobil sürüş aralığına bakıldığında ise günlük sürüş aralığının bireylerin %60.65'i için 50 km ya da daha az, %31.83'ü için 51-100 km arası, %6.77'si için günlük 101-151 km arasında olduğu görülmektedir.

Tablo 3'te hane başına düşen ortalama otomobil sayısının 0.95, otomobil alış fiyatının ortalama 57602 TL ve aylık ortalama yakıt harcamasının ise ortalama 308 TL olduğu görülmektedir.

Tablo 3. Hanedeki Otomobiller Sayısı, Alış Fiyatı, Aylık Yakıt harcaması için Özet İstatistikler

Toplam	Ortalama (TL)	Std. Sapma (TL)
<i>Hanedeki toplam otomobil sayısı</i>	0.95	0.83
<i>Araç Alış fiyatı</i>	57602.66	85945.95
<i>Aylık yakıt harcaması</i>	307.904	334.95

Tablo 4 incelendiğinde otomobil satın almayı planlayan bireylerin oranının %45.12 olduğu belirlenmiştir. Bireylerin %26.38'i bir yıl içinde, %34.65'i iki yıl içinde, %38.97'si dört yıl içinde otomobil satın almak istemektedir. Otomobil satın almayı planlayanların %22.75'i mini-küçük otomobil satın almayı, %14.90'ı üst sınıf otomobil satın almayı planlamaktadır. Tablo 4 incelendiğinde otomobil satın almayı planlayanların %60.39'u elektrikli ve hibrit gibi alternatif yakıtlı otomobil satın almayı planlamakta olup, alternatif yakıtlı otomobil satın almak isteyenlerin %12.75'i mini-küçük otomobil satın almak isterken %72.12'si orta-geniş tip otomobil satın almak istemektedirler.

**Tablo 4. Otomobil Satın Almayı Planlayanlarla İlgili Özet İstatistikler**

Tanım	Cevap	Frekans (%)
	Evet	45.12
<i>Otomobil satın almayı planlıyor musunuz?</i>	Hayır	54.88
<i>Bir yıl içinde otomobil satın almayı planlayanlar</i>		26.38
<i>İki yıl içinde otomobil satın almayı planlayanlar</i>		34.65
<i>Dört yıl içinde otomobil satın almayı planlayanlar</i>		38.97
	Mini/küçük araçlar	22.75
<i>Hangi tip otomobil satın almayı planlıyorsunuz?</i>	Orta/geniş araçlar	58.43
	SUV/Crossover araçlar	3.92
	Üst sınıf/lüks/spor araçlar	14.90
	Evet	60.39
<i>Satın almayı planladığınız otomobilin alternatif yakıtlı (hibrit-elektrik) olmasını tercih edermisiniz?</i>	Hayır	39.61
<i>Satın almayı planladığınız alternatif yakıtlı (hibrit-elektrik) otomobilin otomobiltipinin ne olmasını tercih edersiniz?</i>	Mini/küçük araçlar	12.75
	Orta/ geniş araçlar	72.12
	SUV/Crossover araçlar	12.21
	Üst sınıf/lüks/spor araçlar	2.94

Tablo 5'te bireylerin alternatif yakıtlı otomobili tercih etme nedenlerini belirlemek üzere 5'li likert ölçeğine göre (1-hiç katılmıyorum, 5-her zaman katılıyorum) sorulan "alternatif yakıtlı otomobiller çevre dostu ürünlerdir" ve "alternatif yakıtlı otomobillerin CO<sub>2</sub> emisyon salınımı daha azdır" ifadelerine verilen cevapların ortalamaları yaklaşık 4.5 olduğundan bireylerin bu ifadelere her zaman katıldıklarını göstermektedir.

**Tablo 5. Alternatif Yakıtlı Otomobiller İçin Çevresel Etmelerle İlgili Özet İstatistikler**

	Ortalama	Std. Sapma
<i>Alternatif yakıtlı otomobiller çevre dostu ürünlerdir.</i>	4.558	0.559
<i>Alternatif yakıtlı otomobillerin CO<sub>2</sub> emisyon salınımı daha azdır.</i>	4.632	0.640

### 2.3. Logit Modeli

Adana-Mersin bölgesinde yaş, cinsiyet, eğitim ve gelir gibi değişkenlerin yanı sıra yakıt kullanımındaki, karbondioksit salınımındaki azalma, devlet teşviki gibi çevreye duyarlılığı ölçmeye yönelik değişkenlerin bireylerin alternatif yakıtlı araç tercih etme olasılıklarını nasıl etkilediği Logit modeliyle belirlenmiştir.

Logit modelleri, logit regresyona tabi olan ve özellikle ikili bağımlı değişkenler için tasarlanmış doğrusal olmayan fakat uygun dönüşümler ile doğrusallaştırılabilen bir regresyon modelidir. Bireyin alternatif yakıtlı otomobil satın alma olasılığı yaş, eğitim ve aile geliri gibi açıklayıcı değişkenlere dayanan gözlemlenemeyen bir fayda endeksi  $I_i^*$ 'a bağlı olduğu varsayılabilir. Bu endeks;

$$I_i^* = BX + u_i \quad (2.1)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $i$ 'nci birey ve  $u$ = hata terimidir. Gözlemlenemeyen fayda endeksi alternatif yakıtlı otomobil almayı planlama ya da almamayı planlama kararıyla aşağıdaki şekilde ilişkilendirilir.

$I_i^* \geq 0$  ise  $Y_i = 1$  (kişi alternatif yakıtlı otomobil satın almayı planlıyorsa.)

$I_i^* \leq 0$  ise  $Y_i = 0$  (kişi alternatif yakıtlı otomobil satın almayı planlamıyorsa.)

Yani bir kişinin  $I$  fayda endeksi  $I^*$  eşik değerinin üzerindeyse birey alternatif yakıtlı otomobil satın almayı planlıyor, fakat  $I$ 'den küçükse alternatif yakıtlı otomobil satın almamayı planlıyorsa şeklinde ifade edilir.

Bu tercihin işlemsel hale getirilmesi için bir tercihte bulunmanın olasılığı cinsinden düşünülebilir.

$$\begin{aligned} \Pr(Y_i = 1) &= \Pr(I_i^* \geq 0) \\ &= \Pr[(BX + u_i) \geq 0] \end{aligned} \quad (2.2)$$

$$= Pr(u_i \geq -BX)$$

Artık bu olasılık  $Y_i$ 'nin (olasılık) dağılımına, bu da  $u_i$  hata teriminin olasılık dağılımına bağlıdır. Eğer olasılık dağılımı (sıfır) ortalama değeri etrafında simetrikse, (2.3) eşitliği

$$Pr(u_i \geq -BX) = Pr(u_i \leq BX) \quad (2.3)$$

şeklinde yazılabilir. Dolayısıyla;

$$P_i = Pr(Y_i = 1) = Pr(u_i \leq BX)$$

Açıkça görülüyor ki,  $u_i$ 'nin birikimli dağılım fonksiyonu ait olasılık dağılımının Lojistik olasılık dağılımı olduğunu varsaydığından modelde logit model olmaktadır (Eşitlik 2.4).

$$P_i = \frac{1}{1+e^{-Z_i}} \quad (2.4)$$

$$Z_i = BX_i + u_i$$

Fonksiyonda da görüldüğü gibi  $P_i$  hem bağımsız değişkene hem de parametrelere göre doğrusal değildir (Gujarati, 2006). Bir olayın gerçekleşme olasılığı ile gerçekleşmeme olasılığı birbirine oranlandığında elde edilen oran, bahis oranının (fark oranı, oddsratio) logaritması (Eşitlik 2.5).  $L_i$  logit (bahis oranı) olarak bilinir. Logit modeli en çok olabilirlik tahmincisiyle tahmin edilir.

$$L_i = \ln\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = Z_i = BX + u_i \quad (2.5)$$

Logit modelde marjinal etkilerin yorumu; diğer değişkenler sabit tutulduğunda ilgili açıklayıcı değişken bir yıl arttığında alternatif yakıtlı otomobil satın alma olasılığını yaklaşık olarak marjinal etki değeri kadar (pozitif veya negatif işaretli değere göre) artırır veya azaltır şeklinde yapılır (Gujarati, 2016, s.239).

Logit modellerinde, katsayı yorumu için marjinal etkilerden yararlanılmaktadır. Marjinal etki Eşitlik 2.6 şeklinde hesaplanmaktadır.

$$\text{Marjinal etki} = B_i P_i (1 - P_i). \quad (2.6)$$

Buna göre, olasılığın bağımsız değişkene göre değişme oranının sadece  $B_i$ 'ye değil, aynı zamanda değişimin ölçüldüğü olasılığın düzeyine de bağlı olduğu gösterir. Bu da, bağımsız değişkenlerdeki değişimin, herhangi bir tercihin seçilme olasılığı üzerine en büyük etkisinin, dağılımın orta noktasında meydana geldiğini belirtmektedir.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Modelde Kullanılan Değişkenler ve Tanımlayıcı İstatistikleri

Tablo 6'da Adana-Mersin Bölgesinde elektrikli vehibrit otomobil satın alma olasılığı belirlemede kullanılan değişkenlerin tanımları ve tanımlayıcı istatistikleri verilmiştir.

Adana-Mersin Bölgesi kent merkezinde ikamet eden bireylerin alternatif yakıtlı otomobil satın alma olasılıklarını belirlemede kullanılan Logit modelinin bağımlı değişkeni birey alternatif yakıtlı otomobil satın almak istiyorsa 1, satın almak istemiyorsa 0 değerini aldığı nitel bir değişkendir. Sahip olunan otomobil tipinin mini, orta büyüklükte, SUV ve üst sınıfta olması modele açıklayıcı değişken olarak eklenmiştir. Alternatif yakıtlı otomobiller diğer yakıtlı otomobillere göre daha pahalıdır. Otomobil tiplerine göre otomobil fiyatlarının farklılık göstermesi nedeniyle bu değişkenler modele dahil edilmiştir. Üst sınıf otomobil kategorisi referans değişken olarak alınmıştır. Alternatif yakıtlı araçlar çevreye duyarlı araçlar olduklarından bireylerin hangi durumda bu araçları satın alacaklarını belirlemek için 3 farklı senaryo oluşturulmuş ve bu senaryoları temsil eden değişkenler kukla değişken olarak modele dahil edilmiştir. Bu senaryolardan; alternatif yakıtlı otomobilin fiyatının %25 artması, yakıt maliyetinin %50 azalması durumunda satın alınırsa 1, satın alınmazsa 0 değerini alan kukla değişken, alternatif yakıtlı otomobilin fiyatının %25 artması, CO<sub>2</sub> emisyon salınımının %50 azalması durumunda satın alınırsa 1, satın alınmazsa 0 değerini alan kukla değişken ile alternatif yakıtlı otomobilin fiyatının %25 artması, yakıt maliyetinin ve CO<sub>2</sub> emisyon salınımının %50 azalması durumunda satın alınırsa 1, satın alınmazsa 0 değerini alan kukla değişkenler oluşturulmuştur. Ayrıca alternatif yakıtlı otomobillerin satın alınması için devlet teşvikinin verilmesi durumunda 1, verilmemesi durumunda 0 değerini alan kukla değişken de modele eklenmiştir. Bireyin yaşı, çalıştığı işin kariyerli bir iş olması, öğrenim düzeyi ve hanesindeki birey sayısı da modele açıklayıcı değişken olarak dahil edilmiştir. Ayrıca hanenin toplam harcamasının logaritması da toplam geliri temsilen modele eklenmiştir.

**Tablo 6. Modelde Kullanılan Değişkenler**

Değişkenler	Tanımları
<i>Alteroto</i>	Alternatif yakıtlı otomobil satın almak isteniyorsa 1, değilse 0 (logit modelin bağımlı değişkeni)
<i>Miniarac</i>	Otomobil tipi mini ise 1 değilse 0
<i>Ortaarac</i>	Otomobil tipi orta ise 1 değilse 0
<i>Suv</i>	Otomobil tipi SUV ise 1 değilse 0
<i>Üst sınıf</i>	Otomobil tipi üst sınıf ise 1 değilse 0 (referans)
<i>Alter2550</i>	Alternatif yakıt tüketen aracın satış fiyatı%25 artarsa, yakıt maliyeti %50 azalırsa 1, değilse 0
<i>Alter25CO<sub>2</sub></i>	Alternatif yakıt tüketen aracın satış fiyatı%25 artarsa, CO <sub>2</sub> %50 azalırsa 1, değilse 0
<i>Alter255050</i>	Alternatif yakıt tüketen aracın satış fiyatı%25 artarsa, yakıt maliyeti %50 azalırsa, CO <sub>2</sub> %50 azalırsa 1, değilse 0
<i>Devtes</i>	Devlet teşvik verirse 1, değilse 0
<i>İlkokul</i>	Birey bir okul bitirmede, ilkokul-ilköğretim, ortaokul mezunu ise 1, değilse 0 (referans)
<i>Lise</i>	Birey lise mezunu ise 1 değilse 0
<i>Üniversite</i>	Birey üniversite mezunu ise 1 değilse 0
<i>Yas</i>	Bireyin yaşı
<i>Call</i>	Bireyin işi kariyer meslek (avukat, doktor vb)
<i>Ltophar</i>	Toplam harcamanın logaritması
<i>Hanebüy</i>	Hane halkı büyüklüğü

Çalışmada kullanılan değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri Tablo 7’de sunulmuştur. Tablo 7’ye göre alternatif yakıtlı otomobilin fiyatının %25 artması, yakıt maliyetinin %50 azalması durumunda alternatif yakıtlı otomobil satın alacak bireylerin oranı %56 iken, alternatif yakıtlı otomobilin fiyatının %25 artması, CO<sub>2</sub> emisyon salınımının %50 azalması durumunda bireylerin %33’ü alternatif yakıtlı otomobil satın almak istemektedir. Alternatif yakıtlı otomobilin fiyatının %25 artması, yakıt maliyetinin %50 azalması ve CO<sub>2</sub> emisyon salınımının %50 azalması durumunda ise bireylerin %42’si alternatif yakıtlı otomobil satın almak istemektedir. Devlet teşvikinin verilmesi durumunda alternatif otomobil satın almak isteyen bireylerin oranı ise %52’dir.

**Tablo 7. Tanımlayıcı İstatistikler**

Değişkenler	Ortalama	Standart sapma
<i>Alteroto</i>	0.60	0.48
<i>Alternatif oto yok</i>	0.40	0.54
<i>Miniarac</i>	0.13	0.28
<i>Ortaarac</i>	0.72	0.49
<i>Suv</i>	0.09	0.23
<i>Üst sınıf</i>	0.06	0.20
<i>Alter2550</i>	0.56	0.49
<i>Alter25CO<sub>2</sub></i>	0.33	0.47
<i>Alter255050</i>	0.42	0.39
<i>Devtes</i>	0.52	0.21
<i>İlkokul</i>	0.09	0.32
<i>Lise</i>	0.18	0.38
<i>Üniversite</i>	0.73	0.43
<i>Yas</i>	37.73	11.79
<i>Call</i>	0.25	0.43
<i>Ltophar</i>	0.78	0.41
<i>Hanebüy</i>	3.00	1.05
<i>Örneklem büyüklüğü</i>	563	

Adana-Mersin Bölgesi'nde elektrik hibrit otomobil satın alma olasılığı Logit modelinin en çok olabirlik yöntemiyle tahmin edilmesi ile belirlenmiştir. Tablo 8'de Logit modelinin parametre tahminleri verilmiştir.

Tablo 8 incelendiğinde modelde yer alan açıklayıcı değişkenlerin parametrelerinin (lise mezunu olmak ve bireyin yaşı hariç) büyük bölümü istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

**Tablo 8. Logit Modelin Parametre Tahminleri**

Değişkenler	Katsayı	t istatistiği	Marjinal etki
<i>Sabit</i>	-0.87	-1.77*	
<i>Miniarac</i>	-0.98	-2.76**	-0.22
<i>Ortaarac</i>	1.55	2.76**	0.28
<i>Suv</i>	1.33	6.51**	0.25
<i>Alter2550</i>	0.44	2.81**	0.27
<i>Alter25CO<sub>2</sub></i>	-0.08	-7.17**	-0.034
<i>Alter255050</i>	0.39	2.11**	0.15
<i>Devtes</i>	0.14	2.55**	0.03
<i>Lise</i>	-0.020	-0.54	-0.04
<i>Üniversite</i>	0.129	2.25**	0.03
<i>Yas</i>	0.011	1.31	0.003
<i>Call</i>	0.65	2.96**	0.16
<i>Hanebuy</i>	-0.23	-2.29**	-0.03
<i>Ltophar</i>	0.13	4.21**	0.036
<b>Loglikelihood</b>	-329.69		
<b>LR(14)</b>	115.31		
<b>Pseudo R<sup>2</sup></b>	0.148		

\*: %5 önem anlamlılık düzeyi; \*\*: %10 önem anlamlılık düzeyi

Tablo 8 incelendiğinde, mini araç sahip olmanın elektrikli ve hibrit otomobil satın alma isteği üzerindeki etkisi negatif iken orta büyüklükte araç ve SUV sahip olmanın alternatif yakıtlı araç satın alma isteği üzerindeki etkisi pozitifdir. Alternatif yakıtlı otomobillerin alış fiyatı %25 artmasının, yakıt maliyetinin %50 azalmasının bireylerin elektrikli ve hibrit otomobil satın alma istekliliği üzerindeki etkisinin pozitif olduğu belirlenmiştir. Alternatif yakıtlı otomobillerin araç alış fiyatının %25 artmasının, CO2 emisyon salınımının %50 azalmasının etkisi ise negatif bulunmuştur. Ancak hem yakıt maliyetinin hem de CO2 emisyon salınımının %50 azalmasının etkisi pozitifdir. Devlet teşvikinin verilmesinin, bireyin üniversite öğrenim düzeyinde olmasının, toplam harcamadaki artışın alternatif yakıtlı otomobil satın alımı üzerindeki etkisi pozitif iken, hanedeki birey sayısındaki artışın etkisi negatiftir.

Marjinal etkiler incelendiğinde, mini araç kullanan bireylerin elektrikli ve hibrit otomobil satın alma olasılıklarının üst sınıf araç kullananlara göre 0.22 kadar daha düşük olduğu belirlenmiştir. Mini araç kullanan bireylerin, üst sınıf otomobil kullanan bireylere göre alternatif yakıtlı araç kullanma olasılıklarının daha düşük olduğunu gösteren bu bulgu beklentiyle uyumlu elde edilmiştir. Mini araç kullanan bireylerin daha düşük gelir grubunda yer almaları nedeniyle daha pahalı grupta yer alan alternatif yakıtlı araçları satın alma olasılıkları daha düşük olacaktır. Orta sınıf araç kullanan bireylerin elektrikli ve hibrit otomobil satın alma olasılıkları üst sınıf otomobili olan bireylere göre %27 oranında daha fazladır. SUV araç kullanan bireylerin elektrikli ve hibrit otomobil satın alma olasılıkları üst sınıf otomobili olan bireylere göre %25 oranında daha fazladır. Alternatif yakıtlı otomobillerin araç alış fiyatı %25 artar, yakıt maliyeti %50 azalırsa bireylerin elektrikli ve hibrit otomobil satın alma olasılıkları %27 oranında artacaktır. Ancak, alternatif yakıt tüketen aracın satış fiyatının %25 artması, CO2 emisyon salınımının %50 azalması durumunda ise alternatif otomobil satın alma olasılığı %3.4 oranında azalacaktır. Alternatif yakıtlı otomobillerin araç alış fiyatı %25 artar, yakıt maliyetinin ve CO2 emisyon salınımının %50 azalması durumunda ise alternatif otomobil satın alma olasılığı %1.5 oranında artacaktır. Devletin alternatif yakıtlı araçlara teşvik vermesi, bireyin eğitim düzeyinin üniversite olması ise bireyin alternatif yakıtlı otomobil satın alma olasılığını %3 oranında arttıracaktır. Ancak hanedenki birey sayısının artması alternatif yakıtlı otomobil satın alma olasılığını %3 oranında azaltacaktır.

#### 4. Sonuç

Dünya geneline bakıldığında küresel ısınmanın ve iklim değişikliğinin arttığı görülmektedir. İklim değişikliği, çevreye duyarlılık ve enerji güvenliği ile ilgili endişeler çevre dostu teknolojilerin gelişmesine neden olmuş, daha yeşil ve sorunsuz bir çevre için çevreyi olumsuz etkileyecek gazlardan uzak durmak için birçok alanda çalışmalar yapılmıştır. Bu nedenle içten yanmalı motorlu otomobillere ilgi kıyasla sera gazını, karbondioksit gazını ve emisyonlarını azaltan elektrikli, hibrit ve pil gibi alternatif yakıt kullanan otomobillere ilgi artmış ve bu otomobiller piyasaya girmeye başlamıştır. Dünyada çevre sorunlarının gün geçtikçe artması, tüketicilerin ve üreticilerin çevreye olan duyarlılıkları elektrik, hibrit ve pil kullanan otomobil üretimininve tüketiminin artmasına yol açmıştır.

Türkiye'de otomobil kullanımı her geçen yıl artmaktadır. Artan nüfus da dikkate alındığında otomobil talebindeki artışın gelecek yıllarda da devam edeceği söylenebilir. Küresel ısınmanın etkisi dikkate alındığında Türkiye'de de alternatif yakıtlı otomobil



kullanımının zamanla artması beklenmektedir. Araştırma bulgularına bakıldığında, orta büyüklükte ve SUV tipi otomobile sahip olanların alternatif yakıtlı otomobil satın alma istekliliğinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Alternatif yakıtlı araçların fiyatının %25 artması durumunda; yakıt maliyetinin %50 azalması alternatif yakıtlı otomobil satın alınma istekliliğinde artışa neden olacağı, ancak yakıt maliyetinin azalmaması, ancak CO<sub>2</sub> emisyonunda azalma olması durumunda alternatif yakıtlı araçların satın alma olasılığının düşeceği belirlenmiştir. Ayrıca, devlet teşvikinin verilmesi, bireyin gelirinin yüksek olması ve üniversite öğrenim düzeyinde olması da alternatif yakıtlı otomobil satın alma olasılığını arttırmaktadır.

Çalışmanın sonuçları göz önünde bulundurulduğunda, öncelikle eğitimle ve yasalarla bireylerde çevre bilincinin oluşturulması ve artırılması gerekmektedir. Alternatif yakıtlı otomobil alımlarını negatif etkileyen faktörlerden biri yeterli alt yapının bulunmamasıdır. Bu durumla ilgili yatırımların artması ve girişimlerin desteklenmesi gerektiği söylenebilir. Genel olarak bireylerin yeterli teşvik ve vergi indirimleri sağlandığında alternatif yakıtlı otomobilleri satın alma eğilimlerinin artacağı gözlemlendiğinden bu konudaki teşvikler artırılıp vergilerin düşürülmesi bu tip araçların daha yaygın kullanılmasının sağlanabileceği düşünülmektedir.

Alternatif otomobillerin kullanılmasıyla sıfır karbon salımı ile ulaşımın uygulanabilir olduğunu gösterebilmek için enerji tasarrufu sağlayan şarj edilebilir otomobillerin otoyollarda daha fazla görünür olması sağlanmalıdır. Bunun için gerekli altyapı çalışmalarının yapılması, şarj istasyonlar altyapısının, yeni teknolojilerin (eMobility, IoT, Otonom sürüş) ve oluşacak yan sanayinin geliştirilmesine yönelik politikalara öncelik verilmelidir.

## Kaynakça

- Andriosopoulos, K., Bigerna, S., Bollino, C. A., & Micheli, S. (2018). The impact of age on Italian consumers' attitude toward alternative fuel vehicles. *Renewable Energy*, 119, 299-308.
- Aydemir, T. (2014). Elektrikli Araçların Çevresel Etkilerinin ve Yakıt Avantajlarının İncelenmesi. Gazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi. Ankara.
- Blomquist, G. C. (2004). Self-protection and a verting behavior, values of statistical lives, and benefit cost analysis of environmental policy. *Review of Economics of the Household*, 2(1), 89-110.
- Dreyfus, M. K., ve Viscusi, W. K. (1995). Rates of time preference and consumer valuations of automobiles a fety and fuel efficiency. *The Journal of Law and Economics*, 38(1), 79-10.
- Gujarati, D. (2016). Örneklerle ekonometri. Nasip Bolatoğlu. (Çev.). Ankara: BB101 Yayınları.
- Ito, N., Takeuchi, K., ve Managi, S. (2013). Willingness-to-pay for infrastructure investments for alternative fuel vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 18, 1-8.
- Kerem, A. (2014). Elektrikli araç teknolojisinin gelişimi ve gelecek beklentileri, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 5 (1): 1-13
- Musardo, C., Staccia, B, (2003). Energy Management Strategies for Hybrid Electric Vehicles, *Master's Thesis, Politecnico Di Milan, Milano*.
- Özmen, M. T. (2009). Sera gazı - küresel ısınma ve kyoto protokolü, *İMO Dergisi*, 45- 46.
- TEHAD, (2019). <http://tehad.org/>. Erişim: 20.4.2019
- Şengül Ü., Eslemian S., Eren M. (2013). Türkiye'de istatistikî bölge birimleri sınıflamasına göre düzey 2 bölgelerinin ekonomik etkinliklerinin vza yöntemi ile belirlenmesi ve tobit model uygulaması. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 11(21), 78.



# Taşıt Lastik Tozlarının Toprak Enzim Aktiviteleri Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi

Fatma Olcay Topaç<sup>1\*</sup>, Damla Aktaş<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6364-4087)

<sup>2</sup> Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa Türkiye (ORCID: 0000-0003-1279-7961)

(İlk Geliş Tarihi 24 Eylül 2019 ve Kabul Tarihi 22 Ekim 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.624132)

**ATIF/REFERENCE:** Topaç, F. O. & Aktaş, D. (2019). Taşıt Lastik Tozlarının Toprak Enzim Aktiviteleri Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 306-314.

## Öz

Taşıtlardan kaynaklanan çevresel kirlilik ülkemiz için büyük bir sorun oluşturmaktadır. Yapılan çalışmalar genellikle egzozdan kaynaklı partikül maddeler üzerine yoğunlaşmış olup taşıt lastiklerinin sürtünmesiyle oluşan lastik tozlarının çevresel etkileri üzerinde daha az durulmuştur. Bu çalışmada, sürtünme sonucu toz haline gelerek yol kenarlarındaki topraklara karışan taşıt lastiklerinin, bazı toprak verimlilik parametreleri üzerindeki etkilerinin laboratuvarında yürütülen bir inkübasyon çalışmasıyla ortaya konulması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında topraklara %1, %5 ve %10 oranlarını sağlayacak miktarlarda taşıt lastiği tozu eklenmiş ve 45 gün süren inkübasyon süresince alınan örneklerde arginin amonifikasyon hızı ile üreaz ve alkali fosfataz enzim aktivitelerindeki değişimler incelenmiştir. Çalışmada ayrıca lastik tozu uygulanmış topraklara atıksu arıtma çamuru ilave edilerek çamurun bu topraklardaki iyileştirici etkisi de değerlendirilmiştir. İnkübasyon çalışması sonuçları lastik tozu uygulanan topraklardaki üreaz aktivitesi değerlerinin kontrol değerlerine göre önemli şekilde (%90-95) düştüğünü göstermektedir. Benzer şekilde, %10 oranında uygulanan lastik tozları, topraktaki arginin amonifikasyon hızı değerleri üzerinde inhibisyon etkisi göstermiştir (%81). Lastik tozu uygulanan topraklara yapılan arıtma çamuru uygulaması aktivite değerlerini belirgin şekilde yükseltmiştir. Diğer taraftan çalışmada uygulanan oranlardaki lastik tozunun topraklardaki alkali fosfataz aktivitesini inhibe etmediği görülmüştür. Sonuç olarak yürütülen çalışma ışığında, topraktaki amonifikasyon proseslerinin taşıt lastik tozlarından kaynaklanan kirliliğe daha duyarlı olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Amonifikasyon, Taşıt lastik tozu, Enzim aktivitesi, İnkübasyon, Toprak kirliliği

## Determination of the Effects of Vehicle Tire Dusts on Soil Enzyme Activities

### Abstract

Environmental pollution from vehicles is a major problem for our country. Studies have generally focused on particulate matter originating from the exhaust, and the environmental effects of vehicle tire dusts have been less emphasized. In this study, it is aimed to reveal the effects of vehicle tires which are pulverized by the effect of friction and reached to the roadside soils, on some soil fertility parameters by a laboratory incubation study. Vehicle tire dust samples were added to the soils with doses of 1%, 5% and 10% and the samples, taken during the 45 days incubation period, were examined for the variation in arginine amonification rate, urease and alkaline phosphatase enzyme activities. In addition, wastewater sludge sample was added to the soils treated with tire dust and the biostimulating effect of wastewater sludges on these soils has been evaluated. The results show that the values of urease activity in soils treated with tire dust decreased significantly (90-95%) with respect to to the control values. Tire dust application at dose of 10% showed an inhibition

\* Sorumlu Yazar: Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye, ORCID: 0000-0002-6364-4087, [olcaytopac@uludag.edu.tr](mailto:olcaytopac@uludag.edu.tr)

effect on arginine amination rate values in soil (81%). The application of the wastewater sludge to the tire dust amended soil significantly increased the activity values. It's also found that tire dust didn't inhibit alkaline phosphatase activity in soils. Accordingly, it is concluded that the ammonification processes in soil were found to be more susceptible to pollution from tire dusts.

**Keywords:** Ammonification, Vehicle Tire Dust, Enzyme Activity, Incubation, Soil Pollution

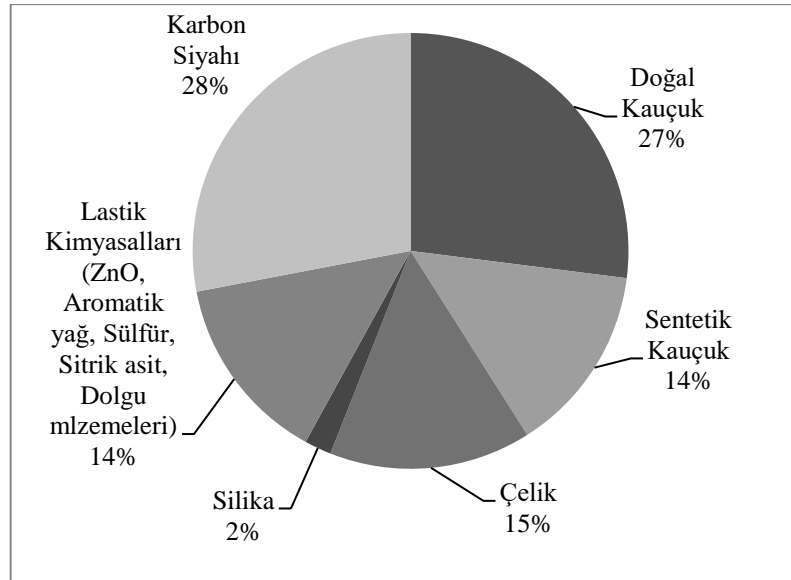
## 1. Giriş

Partikül madde ile hava kirliliği kentsel alanlarda giderek artan bir endişe kaynağıdır. Birçok kirletici emisyon kaynağı arasında trafik kaynaklı partikül madde önemli bir kentsel aerosol kaynağı olarak kabul edilmektedir (Holmen ve Ayala, 2002). Trafikle ilgili partikül madde özelliklerinin çok sayıda deneysel ve teorik araştırması yapılmıştır (Harris ve Maricq, 2001; Knothe vd., 2006). Bu çalışmalar, yanma ve yakıt teknolojisine dayalı partikül madde oluşumu üzerine odaklanmıştır. Egzoz gazında yer alan partiküler maddelerin aksine, trafik kaynaklı egzoz dışı partikül maddelerin yol açtığı kirlilik konusunda daha az sayıda çalışma yapıldığı dikkati çekmektedir (AQEG, 2005).

Yol yüzeyleri, çeşitli kaynaklardan gelen partikül maddeler için bir birikim yeridir. Egzoz gazı içindeki partiküller, buz çözme tuzu ve griti, aşınmadan kaynaklı oluşan lastik tozları, fren balatası kaynaklı tozlar ile çeşitli biyojenik ve jeojenik materyaller yol ve yol kenarlarındaki topraklarda birirmektedirler (AQEG, 2005). Bu biriken malzemeye yol tozu denmektedir. Legret ve Pegotto (1999) yapmış oldukları çalışmada lastik ve fren balatası aşınmasından kaynaklanan yol tozunda yüksek seviyelerde Pb, Cu, Cd ve Zn bulunduğunu tespit ederken Cr ve Ni konsantrasyonlarının düşük olduğunu ortaya koymuşlardır.

ABD'nin Kaliforniya eyaletinde yapılan bir çalışmada Pasadena şehrinde toplanan yol tozu örnekleri analizlenmiş ve yol tozunun % 27'sinin SiO<sub>2</sub>, % 11'inin Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 9'unun Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 4'ünün Ca, % 17'sinin organik madde, % 32'sinin ise diğer inorganik maddelerden oluştuğu sonucu bulunmuştur (Hildemann vd., 1991). Organik karbon, Ca ve Fe gibi bileşikler birçok toprak ve yol tozu örneğinin önemli bileşenleridir (Chow vd., 2003). Yol tozları ve yol kenarında yer alan topraklar, genellikle, taşıt emisyonu kaynaklı Pb, Cu, Cd ve Zn gibi bir dizi metali önemli konsantrasyonlarda içermektedir. Yapılan başka bir çalışmada ise, lastik aşınması sonucu açığa çıkan partikül maddelerin ve yol tozunun, Zn, Cu, Sb, Cr, Cd, V, poliaromatik hidrokarbonlar (PAH) ile benzotiazol ve türevlerini içeren çeşitli toksik metaller ve organik türlerden oluştuğu tespit edilmiştir (Amato vd., 2011; Dave, 2013; Herrero vd., 2014; Sadiktsis vd., 2012).

Yol tozlarının bir kısmını lastiklerin aşınmasından kaynaklanan lastik tozları oluşturmaktadır. Taşıt lastiği üretiminde kullanılan hammaddeler; doğal kauçuk, sentetik kauçuk, çelik tel, silika ve lastik kimyasallarıdır. Bu hammaddelerin oranı lastiğin cinsi ve kullanım yerine göre değişebilmektedir, örnek olarak Şekil 1'de bir kamyon lastiğinin yapısını oluşturan hammaddelerin oranları gösterilmiştir (Yakaboylu, 2010).



Şekil 1: Lastiğin yapısında bulunan hammaddeler (Yakaboylu, 2010).

Lastik firmaları, gizlilik politikalarını esas alarak lastiğin yapısındaki kimyasalların oranlarını paylaşmak istememektedirler. Ancak yürütülen bir çalışmada lastiklerin yapısında bulunan kimyasallardan ZnO, poliaromatik yağ, sitearik asit ve sülfür konsantrasyonlarının sırasıyla %1,58, %6,12, %0,96 ve %1,28 olarak bulunduğu ifade edilmektedir (Cobert, 2009).

Yol kenarı toprak ve bitkileri, trafiğe bağlı ağır metaller için ana birikim yerleri olarak kabul edilmektedir. Topraktaki ağır metal konsantrasyonlarının yol inşaatı ve trafikten önemli ölçüde etkilendiği ve otoyoldan olan uzaklık ile ters orantılı olarak değiştiği kanıtlanmıştır (Zhang vd., 2015; De Silva vd., 2016). Trafikten kaynaklanan ağır metaller, kuru ve ıslak çökeltiler şeklinde toprağa ve buradaki bitkilere aktarılmaktadır. Bitki dokularındaki ağır metal dağılımları da, otoyol yakınlığının bir fonksiyonu olarak değişkenlik göstermektedir (Wiseman vd., 2014). Topraklardan farklı olarak, bitki dokuları sadece topraktan köke aktarma yoluyla değil, aynı zamanda havada biriken ıslak ve kuru parçacıklardan emilim yoluyla da ağır metalleri bünyelerine almaktadırlar (Sánchez-López vd., 2015).

Anlaşılabileceği üzere trafikten kaynaklanan tozlar ve sürtünmeden dolayı parçalanarak yol kenarlarındaki topraklara dağılan lastik tozları çevre sağlığı açısından sorun teşkil etmektedir. Literatürde lastik parçalarını da içeren yol tozları değerlendirilerek, yol tozlarıyla kirlenen toprakların genellikle metal içeriklerine bakılmıştır fakat lastik tozlarının toprak verimliliğinin ve kalitesinin göstergesi olarak değerlendirilebilecek enzim aktiviteleri üzerindeki değişimi pek incelenmemiştir. Bu çalışmada lastik tozlarının yol kenarlarındaki topraklara nasıl bir etkide bulunacağını ortaya koymak amacıyla laboratuvar ortamında gerçekleştirilen 45 günlük bir inkübasyon çalışması yürütülmüştür. Taşıt lastik tozları laboratuvar ortamında topraklara eklenerek topraklar yapay olarak kirlenmiştir. Çalışmada ayrıca lastik tozu uygulanmış topraklara atıksu arıtma çamuru ilave edilerek, çamurun bu topraklardaki iyileştirici etkisi de değerlendirilmiştir. Çalışmada, toprak verimliliğinin bir ölçütü olan enzim aktiviteleri 15, 30 ve 45 günlük inkübasyon periyotlarının ardından tayin edilmiştir. Bu kapsamda üreaz enzim aktivitesi, alkali fosfataz enzim aktivitesi ve arginin amonifikasyon hızı değerlerinde meydana gelen zamana bağlı değişimler irdelenmiş ve toprağın lastik tozu kirliliğine bağlı kirlenme-iyileşme süreçleri değerlendirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metod

### 2.1. Materyal

Çalışmada kullanılan toprak örnekleri, Bursa Balabancık bölgesindeki bir tarım arazisinden yüzeyin ilk 20 cm'lik kısmından alınmıştır. Toprak örnekleri oda sıcaklığında hava ile kurutulmuş, öğütülmüş ve inkübasyon çalışmasında kullanılmak üzere 4 mm'lik bir elekten geçirilmiştir. Çalışmada kullanılan arıtma çamuru numunesi Bursa'daki bir süt ve süt ürünleri üretim işletmesinin atıksu arıtma tesisinden temin edilmiştir. Toprak ve çamur numunesinin karakterizasyonu Tablo 1'de verilmiştir. Taşıt lastik tozlarının yol açabileceği toprak kirliliğinin değerlendirileceği inkübasyon çalışmasında, bir benzin istasyonundan temin edilen atık traktör lastiği kirlenici materyal olarak kullanılmıştır. Kullanılmış lastik parçaları laboratuvar ortamında öğütülmüş ve 1mm'lik eleklerden elenerek inkübasyon çalışmasında kullanılmaya hazır hale getirilmiştir.

Tablo 1: Toprak ve çamurun kimyasal karakterizasyonu

Parametre	Toprak	Çamur
pH (1:5, katı:su)	7,7	7,3
İletkenlik (1:5, katı:su) (mS/cm)	0,27	3,55
Tekstür	Kumlu killi tın	-
Kum (%)	56	-
Silt (%)	19	-
Kil (%)	25	-
Kolay okside olabilir organik C , %	1,35	18,2
Toplam Azot (%)	0,14	6,4
Amonyum Azotu (mg/kg)	32,67	1106
Nitrat Azotu (mg/kg)	30,3	178
Toplam Fosfor (%)	0,16	0,32
Yarayışlı Fosfor (mg/ kg)	22,15	233

### 2.2. Deneysel Prosedür

Elde edilen ince lastik tozları %1, %5 ve %10 oranlarını sağlayacak şekilde 2 tekrarlamalı tesadüfi blok tasarımı düzeninde 120 g kuru toprak içeren inkübasyon kaplarına uygulanmıştır. Lastik tozlarının toprak ortamına olan etkisi yanısıra, uygun özellikteki atıksu arıtma çamurunun bu topraklardaki iyileştirici etkisini de değerlendirmek üzere, farklı dozlarda lastik tozu uygulanmış bir seri kaba 140 ton kuru çamur/ha oranını sağlayacak miktarda stabilize arıtma çamuru eklenmiştir. Karışımlar tarla kapasitelerinin %70'i oranında nemlendirilmiş ve 28°C'ye ayarlanmış inkübatöre yerleştirilmiştir. Topraklardaki nem miktarının sabit kalmasına özen gösterilerek örnekler sabit sıcaklıkta 45 gün boyunca inkübe edilmiştir. 15, 30 ve 45 günlük inkübasyon süreleri sonunda alınan toprak örneklerinde üreaz aktivitesi, alkali fosfataz aktivitesi ile arginin amonifikasyon hızı değerleri belirlenmiştir.

### 2.3. Laboratuvar Analizleri (Laboratory Analysis)

Toprakların tekstürleri mekanik analiz yöntemi ile belirlenmiştir (Gee ve Bauder, 1982). Toprak ve çamur örneklerinin pH ve EC25°C değerleri, 1:5 (ağırlık/hacim) kuru madde su ekstraktında ölçülmüştür (Mc Lean, 1982; Rhoades 1982). Toplam-N miktarı Kjeldahl yöntemiyle, amonyum-N ve nitrat-N konsantrasyonları ise su buharı destilasyonu ile belirlenmiştir (Bremner ve Mulvaney, 1982; Keeney ve Nelson, 1982). Toplam P belirlenmesi için nitrik asit-sülfirik asit karışımıyla yaş yakma yapılmış, yarayışlı P için ise NaHCO<sub>3</sub> ekstraksiyonu uygulanmıştır (Olsen ve Sommers, 1982). Ekstraktlardaki P askorbik asit yöntemine göre belirlenmiştir (APHA, 1998).

Örneklerdeki kolay okside olabilir organik karbon miktarlarının belirlenmesi için Walkley-Black yöntemi uygulanmıştır (Nelson ve Sommers, 1982).

Toprağın üreaz aktivitesi Tabatabai (1982) tarafından tarif edildiği gibi belirlenmiştir. Beş gram kuru toprak, 2 saat boyunca 37°C'de 0.2 ml toluen, 9 ml THAM tampon çözeltisi (pH 9) ve 1 ml 0.2 mol/L üre çözeltisi ile muamele edilmiştir. İnkübasyonu takiben, enzim aktivitesi 35 ml KCl-Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisi ilave edilerek durdurulmuştur. Toprak süspansiyonundaki NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N konsantrasyonu tayini için, numuneler 2 mol/L KCl ile ekstrakte edilmiş ve ekstraktlardaki amonyum konsantrasyonları indofenol mavisi metodu kullanılarak belirlenmiştir (Keeney ve Nelson, 1982). Sonuçlar µg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N / g kuru toprak.sa olarak hesaplanmıştır.

Arginin amonifikasyon hızının tayini için, 0.5 ml arginin çözeltisi (2 g/L) ilave edilmiş 2 g toprak 30° C'de 3 saat boyunca inkübe edilmiş ve inkübasyonun ardından örnekler, 20 ml 2 mol/l KCl çözeltisi ile ekstrakte edilmiştir (Alef and Kleiner, 1986). Ekstraktlardaki amonyum konsantrasyonları indofenol mavisi metodu kullanılarak belirlenmiştir (Keeney ve Nelson, 1982). Arginin amonifikasyon hızı, arginin ile muamele edilmiş ve argininle muamele edilmemiş numune değerleri arasındaki fark alınarak hesaplanmıştır. Arginin amonifikasyon hızı, µg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N / g kuru toprak.sa olarak hesaplanmıştır.

Alkali fosfataz enzim aktivitesinin belirlenmesi için, 1 g toprağa 0,2 ml tolüen, 4 ml MUB (pH 11) ve 1 ml p-nitrofenil fosfat çözeltileri eklenmiş ve karışımlar 1 saat 37°C inkübe edilmiştir. İnkübasyonun ardından örneklere 1 ml 0,5M CaCl<sub>2</sub> ve 4 ml 0,5M NaOH ilave edilerek oluşan sarı rengin yoğunluğu 410 nm'de spektrofotometrik olarak belirlenmiştir (Tabatabai, 1982). Sonuçlar µg PNP / g kuru toprak.sa olarak hesaplanmıştır.

## 2.4. İstatistiksel Analiz

Toprağa yapılan uygulamaların ve zamanın çalışma kapsamında belirlenen parametreler üzerindeki etkisini değerlendirmek üzere STATISTICA programı kullanılarak iki yönlü varyans analizi uygulanmıştır ve ortalama değerler Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi kullanılarak kıyaslanmıştır.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

İnkübasyon çalışması kapsamında belirlenen parametrelerin toprağa yapılan uygulamalar ve inkübasyon süresinden etkilenme durumunu değerlendirmek için iki yönlü varyans analizi uygulanmış ve sonuçlar Tablo 2'de özetlenmiştir. Toprağa yapılan uygulamalar ile inkübasyon süresinin topraktaki üreaz aktivitesi, arginin amonifikasyon hızı ve fosfataz aktivitesi değerlerine olan etkisi p<0,05 düzeyinde önemli bulunmuştur. Diğer bir ifadeyle toprağa yapılan lastik tozu ve çamur uygulamaları ile zaman belirlenen parametreler üzerinde bir fark yaratmıştır.

Tablo 2. Topraktaki üreaz aktivitesi, arginin amonifikasyon hızı ve fosfataz aktivitesi değerlerinin toprağa yapılan uygulamalar ile inkübasyon süresine göre farklılaşma durumunu gösteren iki yönlü varyans analizi sonuçları

Parametre	Varyasyon Kaynağı	SS	Serbestlik Derecesi	F <sub>İstatistik</sub>
<b>Bağımsız Değişken : Üreaz Aktivitesi</b>				
	Uygulama (U)	464653	7	224,27*
	İnkübasyon Süresi (İS)	107705	2	181,94*
	U x İS	144707	14	34,922*
	Hata	14207	48	-
<b>Bağımsız Değişken: Arginin Amonifikasyon Hızı</b>				
	Uygulama (U)	18,920	7	42,403*
	İnkübasyon Süresi (İS)	14,408	2	113,02*
	U x İS	4,0854	14	4,5782*
	Hata	3,0596	48	-
<b>Bağımsız Değişken: Alkali Fosfataz Aktivitesi</b>				
	Uygulama (U)	4902723	7	1524,5*
	İnkübasyon Süresi (İS)	1002476	2	1091,0*
	U x İS	510324	14	79,343*
	Hata	22052	48	-

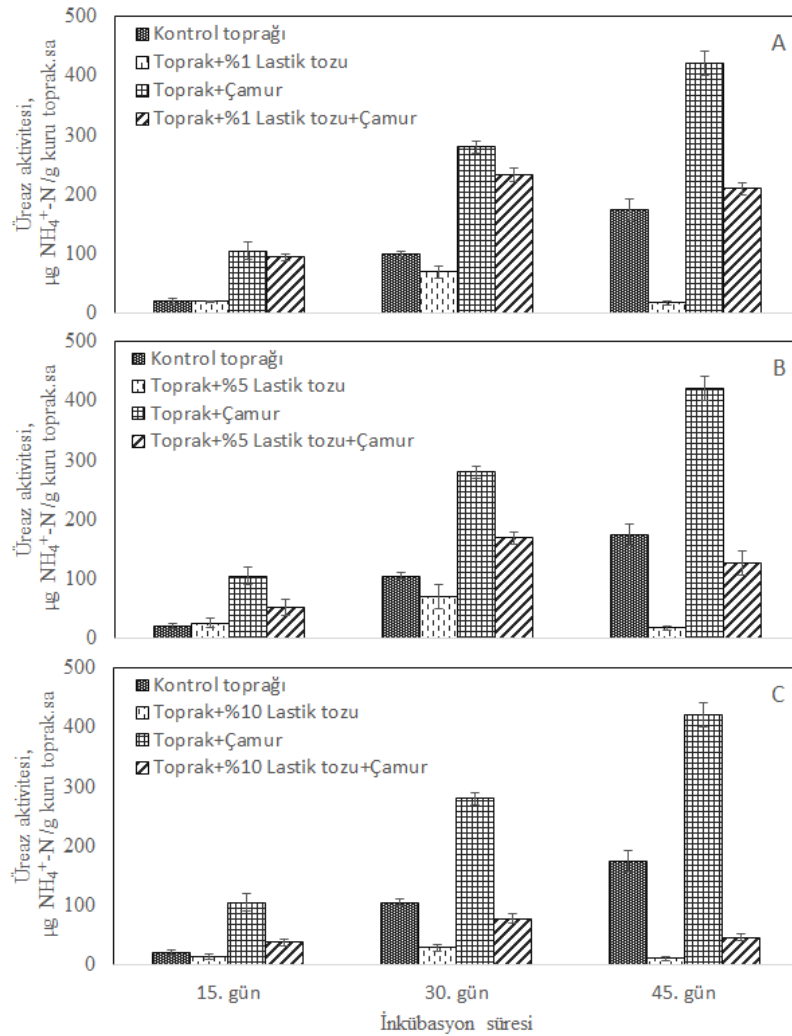
\*p<0,05 düzeyinde önemli

Yürütülen inkübasyon çalışması kapsamında, lastik tozu ilavesiyle kirletilen toprakların üreaz aktivitesi değerlerinde meydana gelen değişim Şekil 2'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi herhangi bir uygulamanın yapılmadığı kontrol toprağında belirlenen üreaz aktivitesi değerleri 21 ila 175 µg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N / g kuru toprak.sa arasında olup inkübasyon süresi boyunca bir artış eğilimi göstermiştir. Farklı oranlarda lastik tozu içeren topraklarda belirlenen üreaz aktivitesi değerleri ise genel olarak inkübasyon süresince kontrol seviyelerinin altında kalmıştır (p<0,05). Lastik tozu kaynaklı olarak meydana gelen inhibisyon etkisinin inkübasyonun 45. gününde daha belirgin şekilde meydana geldiği görülmüştür. %1 ve %5 oranında lastik tozu içeren topraklardaki üreaz aktivitelerinde 45 günlük inkübasyonun sonunda kontrole göre yaklaşık % 90'lık bir inhibisyon meydana gelirken, %10 oranında lastik içeren uygulamada bu değer %95 olarak bulunmuştur. 45 günlük inkübasyon çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar, toprağa karışan lastik tozlarının topraktaki üreaz enzim aktivitesini belirgin şekilde inhibe ettiğini göstermektedir. Lastik tozlarının toprak ortamı üzerinde yarattığı bu baskı muhtemelen lastik içeriğindeki çinko ve organik bileşiklerin toksisitesinden kaynaklanmaktadır (Gualtieri vd., 2005; Wik ve Dave, 2006; Mantecca vd., e-ISSN: 2148-2683



2007; Wik, 2007). San Miguel vd., (2002) de toz haline getirilmiş lastiklerin çinko, kurşun, kadmiyum, krom ve molibden gibi toksik ajanların salınımına sebep olduğuna dikkat çekmişlerdir. Toz haline getirilmiş lastiklerin % 2 oranında kumla karıştırıldığı bir çalışmada, lastik tozu ilavesinin bitki büyümesinde düşüşe ve doğrudan çinko toksisitesine atfedilen düşük verime neden olabileceği vurgulanmıştır (Schulz, 1987). Yürütülen diğer bir çalışmada da toprağa eklenen çinkonun üreaz enzim aktivitesini inhibe ettiği ve üreazın ağır metal kirliliğine karşı diğer enzim aktivitelerine kıyasla daha hassas olduğu vurgulanmıştır (Yang vd., 2006). Benzer bir çalışmada nötr toprak reaksiyonu ve organik madde birikimi koşulları altında toprak örneklerinde kuvvetli ve uzun vadeli ağır metal kirliliğinin üreaz enzim aktivitesini düşürdüğü gözlenmiştir (Ciarkowska vd., 2004).

Kontrol toprağına yapılan stabilize arıtma çamuru uygulamasının toprağın üreaz aktivitesini önemli ölçüde stimüle ettiği Şekil 2'den görülmektedir. Yapılan stabilize çamur uygulaması inkübasyonun 15. günündeki üreaz aktivitesi değerlerini kontrole göre 5 kat arttırmıştır. 30. ve 45. günlerde ise, çamur uygulamasıyla bağlantılı olarak sırasıyla, 2,6 ve 2,4 katlık artışlar görülmüştür. Çamurdaki mikrobiyal biyokütle içeriğinin ve substrat seviyesinin fazla oluşunun üreaz sentezini aktive ettiği düşünülmektedir (Bandick ve Dick, 1999). Diğer çalışmalarda da organik materyallerin uygulandığı topraklarda enzim aktivitelerinde önemli artışların meydana geldiği vurgulanmıştır (Albiach vd., 2000). Farklı oranlarda lastik tozu ile beraber stabilize arıtma çamuru uygulanan topraklardaki üreaz aktivitesi değerleri incelendiğinde ise (Şekil 2), arıtma çamuru ilavesinin yarattığı iyileştirici etki açık bir şekilde görülmektedir. %1 ve %5 oranında lastik tozu içeren topraklara yapılan arıtma çamuru uygulaması üreaz aktivitesi değerlerini kontrol seviyelerine veya bu seviyenin üzerine çıkartabilmiştir. Sonuç olarak 140 t/ha oranında gerçekleştirilen stabilize arıtma çamuru uygulamasının, düşük oranlardaki lastik tozu (%1 ve %5) kirliliğinin toprak üreaz aktivitesi üzerinde yarattığı olumsuz etkileri ortadan kaldırdığı sonucuna varılmıştır. Diğer taraftan uygulanan stabilize arıtma çamuru, yüksek oranda lastik tozu (%10) ile kirlenmiş topraklarda yeterince etkili olamamıştır. %10 lastik tozu ve stabilize arıtma çamuru içeren topraklarda inkübasyonun 45. gününde belirlenen üreaz aktivitesi değerleri kontrol seviyesinden %70 oranında daha düşük tespit edilmiştir.

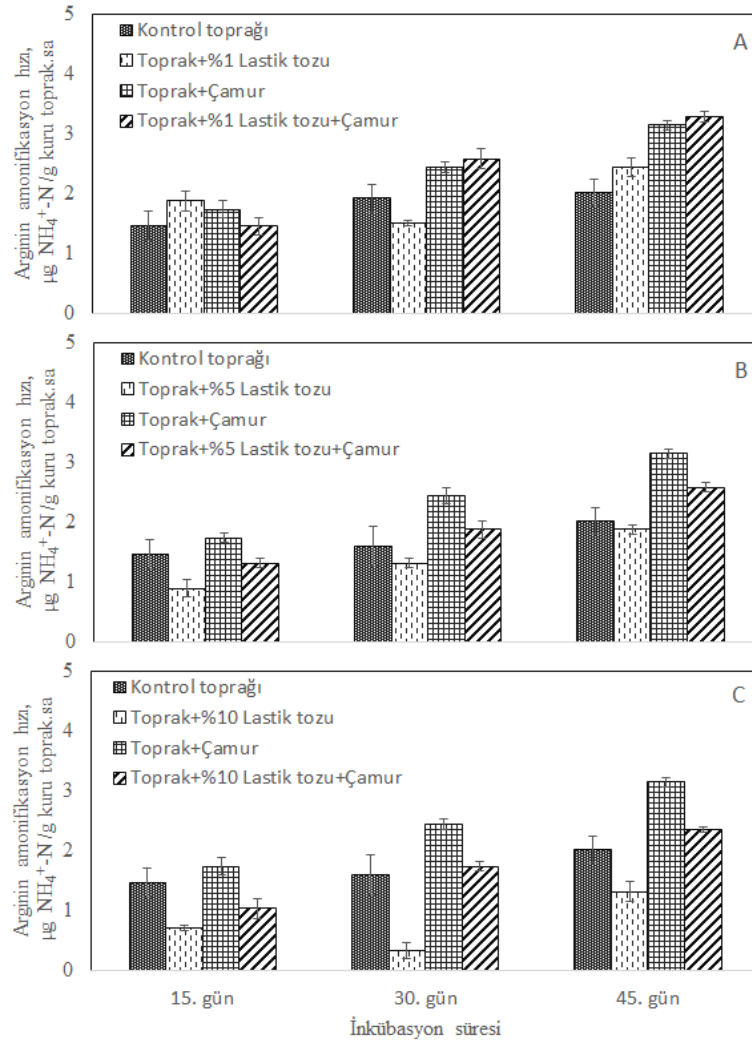


Şekil 2: Lastik tozu uygulanmış topraklarda üreaz aktivitesinin değişimi (A) %1 oranındaki uygulama, (B) %5 oranındaki uygulama, (C) %10 oranındaki uygulama

Çalışmada kullanılan ve topraklardaki lastik tozu kirliliğinin yarattığı değişimi ortaya koymak amacıyla incelenen diğer parametre arginin amonifikasyon hızı olup, inkübasyon süresince meydana gelen değişimler Şekil 3'te verilmiştir. Herhangi bir uygulamanın yapılmadığı kontrol toprağında belirlenen arginin amonifikasyon hızı değerleri 1,5-2 µg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N / g kuru toprak.sa seviyelerinde belirlenmiş olup kontrol değerlerinde zamana bağlı önemli bir değişimin meydana gelmediği görülmüştür (p<0,05). %1 ve %5 oranında lastik tozu ilave edilmiş topraklardaki değerler incelendiğinde, belirlenen arginin amonifikasyon hızlarının kontrol e-ISSN: 2148-2683

değerleriyle benzerlik gösterdiği görülmektedir. Diğer bir ifadeyle, toprağa %1 ve %5 oranında eklenen lastik tozları arginin amonifikasyon prosesini önemli derecede inhibe etmemiştir. Ancak %10 oranında lastik tozu ilavesinin, arginin amonifikasyon hızı parametresi itibarıyla, toprakta yarattığı etki farklı olmuştur. Yüksek doz lastik tozu içeren topraklardaki arginin amonifikasyon hızı değerleri tüm inkübasyon dönemlerinde kontrol seviyelerinin altında bulunmuştur ( $p < 0,05$ ) ve en yüksek inhibisyon değeri %81 ile inkübasyonun 30. gününde tespit edilmiştir.

Şekil 3'ten görüldüğü gibi, kontrol toprağına yapılan stabilize arıtma çamuru uygulaması topraktaki arginin amonifikasyon hızını genel olarak arttırmış olup, gözlemlenen stimülasyon etkisinin inkübasyonun 45.gününde daha belirgin olduğu tespiti yapılmıştır. Toprağına yapılan stabilize arıtma çamuru uygulaması topraktaki arginin amonifikasyon hızını % 56 arttırmıştır. Stabilize arıtma çamuru, %1 ve %5 oranında lastik tozu uygulanmış topraklardaki arginin amonifikasyon hızı değerlerini de kontrol toprağı değerlerine göre önemli derecede arttırarak toprak iyileştirici bir etkiye bulunmuştur. Diğer taraftan çamur uygulamasının %10 lastik tozu içeren topraklardaki arginin amonifikasyon hızı değerlerini de hafifçe arttırdığı görülmüştür. Lastik tozu uygulamasıyla inhibe olan topraklardaki arginin amonifikasyon hızı değerleri toprağına yapılan stabilize arıtma çamuru uygulamasıyla kontrol seviyelerine çıkabilmiştir.

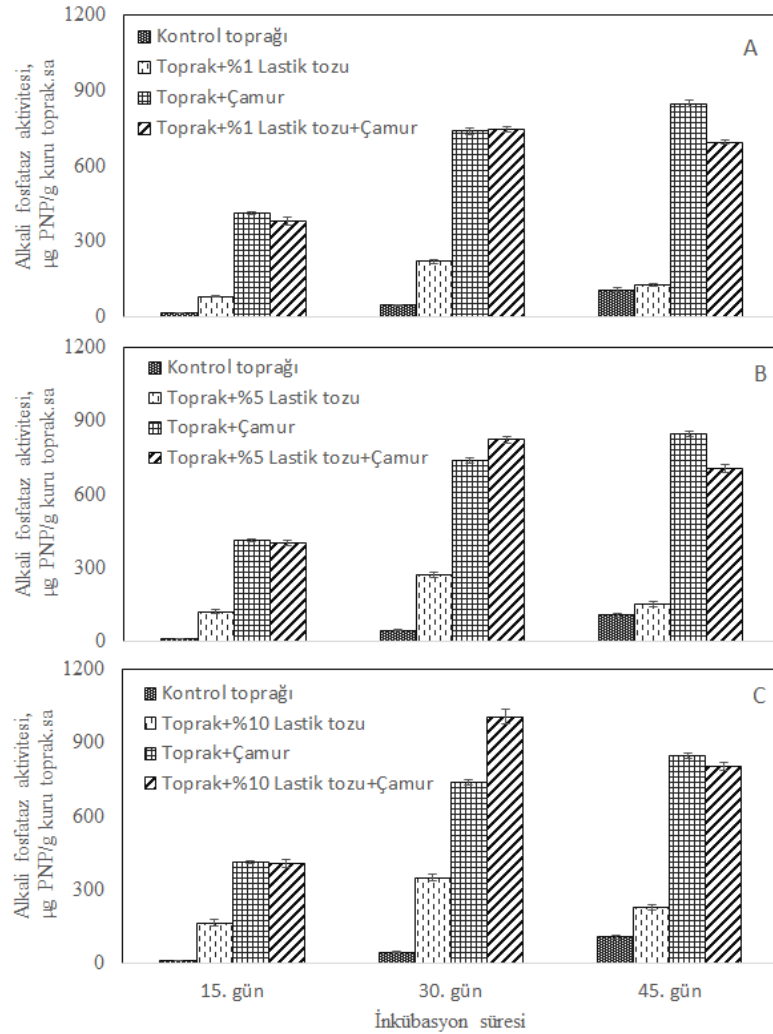


Şekil 3: Lastik tozu uygulanmış topraklarda arginin amonifikasyon hızının değişimi (A) %1 oranındaki uygulama, (B) %5 oranındaki uygulama, (C) %10 oranındaki uygulama.

Lastik tozu ilavesiyle kirletilen toprakların alkali fosfataz aktivitesi değerlerinde meydana gelen değişim Şekil 4'te sunulmuştur. Herhangi bir uygulamanın yapılmadığı kontrol toprağında belirlenen alkali fosfataz aktivitesi değerlerinin 14 ila 108 µg PNP /g kuru toprak.sa arasında değiştiği ve inkübasyon süresine bağlı bir artış eğiliminin olduğu tespit edilmiştir ( $p < 0,05$ ). Farklı oranlarda lastik tozu içeren topraklarda belirlenen alkali fosfataz aktivitesi değerleri ise genel olarak inkübasyon süresince kontrol seviyelerinde veya kontrol seviyelerinin üzerinde belirlenmiştir. Diğer bir ifadeyle, çalışma kapsamındaki denenen oranlarda lastik tozu topraklardaki alkali fosfataz aktivitesini olumsuz yönde etkilememiş, herhangi bir inhibisyon etkisi gözlenmemiştir. Bu doğrultuda çinko içeriği zengin lastik tozunun toprakta yarattığı çinko artışının alkali fosfataz aktivitesini olumsuz yönde etkilemediği ve/veya alkali fosfatazın ağır metal kirliliğine karşı hızlı cevap veren bir indikatör olmadığı sonucuna varılabilir. Benzer şekilde, yapılan bir çalışmada alkali fosfataz aktivitesinin topraktaki çinko konsantrasyonunun artmasından önemli derecede etkilenmediği bildirilmiştir (Yang vd., 2006). Duan vd.,

(2018)'nin yapmış olduğu bir çalışmada ise ağır metallerin enzim aktivitelerine olan etkileri incelenmiş ve ölçüm sonuçlarına göre ağır metal kirliliğinden en az etkilenen enzim aktivitesinin alkali fosfataz olduğu belirlenmiştir.

Şekil 4'ten görüldüğü üzere stabilize arıtma çamuru uygulaması gerek kontrol toprağı gerekse farklı oranlarda lastik tozu içeren toprakların alkali fosfataz aktivitelerini önemli ölçüde arttırmıştır ( $p<0,05$ ). Kontrol toprağına yapılan çamur uygulamasıyla topraktaki alkali fosfataz aktivitesi 45 günün sonunda 847  $\mu\text{g PNP/g}$  kuru toprak.sa seviyelerine çıkmıştır. Lastik tozu içeren topraklardaki çamur kaynaklı stimülasyon etkisi de çok belirgin olup, alkali fosfataz değerlerinin inkübasyon sonunda 698-802  $\mu\text{g PNP/g}$  kuru toprak.sa seviyelerine çıktığı tespit edilmiştir.



Şekil 4. Lastik tozu uygulanmış topraklarda alkali fosfataz aktivitesi değişimi (A) %1 oranındaki uygulama, (B) %5 oranındaki uygulama, (C) %10 oranındaki uygulama.

#### 4. Sonuç

Yürütülen çalışma neticesinde, toprağına eklenen lastik tozlarının topraktaki üreaz aktivitesi değerini önemli ölçüde düşürdüğü görülmüştür. %1-10 oranında lastik tozunun toprağına karışmasıyla topraktaki üreaz aktivitesi mevcut inkübasyon koşullarında %90-95 oranında inhibe olmuştur. Toprağına uygulanan düşük doz lastik tozları (%1 ila %5), topraktaki arginin amonifikasyon hızını fazla etkilemezken, %10 oranında lastik tozunun toprağına karışmasıyla arginin amonifikasyon hızı değerlerinde %81'lik bir azalma meydana gelmiştir. Topraklara uygulanan lastik tozu, diğer iki aktivitenin aksine alkali fosfataz enzim aktivitesinde inhibisyona sebep olmamıştır. Bu sonuçlar ışığında, azot döngüsünde önemli rol oynayan amonifikasyon proseslerinin lastik tozlarının yarattığı kirliliğe daha duyarlı olduğu ve hızla cevap verdiği sonucuna varılmıştır. Özellikle üreaz aktivitesinin, taşıt lastik tozlarına bağlı kirliliğin izlenmesi ve değerlendirilmesinde indikatör parametre olarak kullanılabilceği izlenimi edinilmiştir. Ayrıca inkübasyon çalışması sonuçları, topraklara uygulanan stabilize arıtma çamurunun toprağına üreaz, alkali fosfataz ve arginin amonifikasyon hızı değerlerini belirgin şekilde yükselttiğini göstermiştir. Organik madde ve besin maddelerince zengin arıtma çamuru uygulaması ile, lastik tozunun topraktaki yarattığı baskıyı azaltıcı yönde etkiler gözlenmiştir. Bundan sonraki süreçte farklı araç lastikleri yanısıra gerçek yol tozu örneklerinin topraktaki olası etkilerinin değerlendirilmesine yönelik çalışmaların yapılması önerilmektedir.

## Kaynakça

- Albiach, R., Canet, R., Pomares, F. & Ingelmo, F. (2000). Microbial biomass content and enzymatic activities after the application of organic amendments to a horticultural soil, *Bioresource Technology*, 75 (1), 43-48. doi:10.1016/S0960-8524(00)00030-4
- Alef, K., & Kleiner, D. (1986). Arginine ammonification, a simple method to estimate microbial activity potentials in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 18: 233–235. doi:10.1016/0038-0717(86)90033-7
- Amato, F., Viana, M., Richard, A., Furger, M., Prevot, A.S.H., Nava, S., Lucarelli, F., Bukowiecki, N., Alastuey, A., Reche, C., Moreno, T., Pandolfi, M., Pey, J. & Querol, X. (2011). Size and time-resolved roadside enrichment of atmospheric particulate pollutants. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11, 2917-2931. doi: 10.5194/acp-11-2917-2011
- APHA (1998) *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. 20. Edition, Baltimore: American Public Health Association.
- AQEG (2005). Particulate matter in the United Kingdom. London: DEFRA.
- Bandick, A. K. & R. P. Dick. (1999). Field management effect on soil enzyme activities, *Soil Biology and Biochemistry*, 31(11), 1471-1479. doi: 10.1016/S0038-0717(99)00051-6
- Bremner, J. M. & Mulvaney, C. S. (1982). Nitrogen-total. In: Page A.L, Miller R.H & Keeney D.R. (Der.), *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties* içinde (595-622). Madison, WI: ASA and SSSA.
- Chow, J. C., Watson, J. G., Ashbaugh, L. L. & Magliano, K. L. (2003). Similarities and differences in PM10 chemical source profiles for geological dust from the San Joaquin Valley, California. *Atmospheric Environment*, 37, 1317-1340. doi: 10.1016/S1352-2310(02)01021-X
- Ciarkowska, K., Solek-Podwika, K. & Wieczorek, J. (2004). Enzyme activity as an indicator of soil-rehabilitation processes at a zinc and lead ore mining and processing area, *Journal of Environmental Management*, 132, 250-256. doi: 10.1016/j.jenvman.2013.10.022
- Cobert, A. (2009). Environmental comparison of Michelin Tweel™ and pneumatic tire using life cycle analysis. *Yüksek Lisans Tezi*, Georgia: Georgia Institute of Technology.
- Dave, G. (2013). Ecotoxicological risk assessment and management of tire wear particles. In: Férard J.F., Blaise C. (Der.) *Encyclopedia of aquatic ecotoxicology* içinde. Dordrecht: Springer. Dave, G., Ecotoxicological Risk Assessment and Management of Tire Wear Particles. Springer, Netherlands, Encyclopedia of Aquatic Ecotoxicology, doi: 10.1007/978-94-007-5704-2
- De Silva, S., Ball, A. S., Huynh, T. & Reichman, S.M. (2016). Metal accumulation in roadside soil in Melbourne, Australia: Effect of road age, traffic density and vehicular speed. *Environmental Pollution*, 208, 102-109, doi: 10.1016/j.envpol.2015.09.032
- Duan, C., Fang, L., Yang, C., Chen, W., Cui, Y. & Li, S. (2018). Reveal the response of enzyme activities to heavy metals through in situ zymography. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 156,106-115. doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.03.015.
- Gee, G. W. Bauder, J. W. (1982). Particle size analysis. In: Klute A. (Der.), *Methods of soil analysis, Part 1. Physical and mineralogical methods* içinde (384-412). Madison, WI: ASA and SSSA.
- Gualtieri, M., Andrioletti, M., Mantecca, P., Vismara, C. & Camatini, M. (2005). Impact of tire debris on in vitro and in vivo systems. *Particle and Fibre Toxicology*, 2, 1, doi: 10.1186/1743-8977-2-1
- Harris, S. J., & Maricq, M. M. (2001). Signature size distributions for diesel and gasoline engine exhaust particulate matter. *Journal of Aerosol Science*, 32, 749-764. doi: 10.1016/S0021-8502(00)00111-7
- Herrero, P., Borrull, F., Pocurull, E. & Marce, R.M. (2014). An overview of analytical methods and occurrence of benzotriazoles, benzothiazoles and benzenesulfonamides in the environment. *Trac-Trends in Analytical Chemistry*, 62, 46-55. doi: 10.1016/j.trac.2014.06.017
- Hildemann, L. M., Markowski, G. R. & Cass, G. R. (1991). Chemical-composition of emissions from urban sources of fine organic aerosol. *Environmental Science and Technology*, 25, 744-759. doi: 10.1021/es00016a021
- Holmén, B. A. & Ayala, A. (2002). Ultrafine PM emissions from natural gas, oxidation-catalyst diesel, and particle-trap diesel heavy-duty transit buses. *Environmental Science and Technology*, 36, 5041–5050. doi: 10.1021/es015884g.
- Keeney, D. R. & Nelson, D. W. (1982). Nitrogen-inorganic forms. In: Page A.L, Miller R.H & Keeney D.R. (Der.), *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties* içinde (643-693). Madison, WI: ASA and SSSA.
- Knothe, G., Sharp, C. A. & Ryan, T. W. (2006). Exhaust emissions of biodiesel, petrodiesel, neat methyl esters, and alkanes in a new technology engine. *Energy Fuels*, 20, 403-408. doi: 10.1021/ef0502711
- Legret, M. & Pagotto, C. (1999). Evaluation of pollutant loadings in the runoff waters from a major rural highway. *The Science of the Total Environment*, 235, 143-150. doi: 10.1016/S0048-9697(99)00207-7
- Mantecca, P., Gualtieri, M., Andrioletti, M., Bacchetta, R., Vismara, C., Vailati, G. & Camatini, M. (2007). Tire debris organic extract affects *Xenopus* development. *Environment International*, 33, 642–648. doi: 10.1016/j.envint.2007.01.007
- Mc Lean, E. O. (1982). Soil pH and lime requirement. In: Page A.L, Miller R.H & Keeney D.R. (Der.), *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties* içinde (199-224). Madison, WI: ASA and SSSA.
- Nelson, D. W. & Sommers, L. E. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page A.L, Miller R.H & Keeney D.R. (Der.), *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties* içinde (539-579). Madison, WI: ASA and SSSA.
- Olsen, S.R. & Sommers, L.E. (1982). Phosphorus. In: Page A.L, Miller R.H & Keeney D.R. (Der.), *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties* içinde (403-430). Madison, WI: ASA and SSSA.
- Rhoades, J. D. (1982). Soluble Salts. In: Page A.L, Miller R.H & Keeney D.R. (Der.), *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties* içinde (285-290). Madison, WI: ASA and SSSA.
- Sadiktsis, I., Bergvall, C., Johansson, C. & Westerholm, R. (2012). Automobile tires-a potential source of highly carcinogenic dibenzopyrenes to the environment. *Environmental Science and Technology*, 46, 3326-3334. doi: 10.1021/es204257d

- Sánchez-López, A. S., Carrillo-González, R., González-Chávez, M. D. C. A., Rosas-Saito, G. H. & Vangronsveld, J. (2015). Phytobarriers: Plants capture particles containing potentially toxic elements originating from mine tailings in semiarid regions. *Environmental Pollution*, 205, 33-42. doi: 10.1016/j.envpol.2015.05.010
- San Miguel, G., Fowler, G. D. & Sollars C. J. (2002). The leaching of inorganic species from activated carbons produced from waste tyre rubber. *Water Research*, 36(8), 1939-1946. doi: 10.1016/S0043-1354(01)00422-5
- Schulz, M. (1987). Effects of ground rubber on *Phaseolus vulgaris*. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 150, 37-41. doi: 10.1002/jpln.19871500108
- Tabatabai, M. A. (1982). Soil enzymes. In: Page A.L, Miller R.H & Keeney D.R. (Der.), *Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and microbiological properties* içinde (903-943). Madison, WI: ASA and SSSA.
- Wik, A. (2007). Toxic components leaching from tire rubber. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 79, 114-119. doi: 10.1007/s00128-007-9145-3
- Wik, A. & Dave, G. (2006). Acute toxicity of tire rubber leachates to *Daphnia magna*—variability and toxic components. *Chemosphere*, 64, 1777-1784. doi: 10.1016/j.chemosphere.2005.12.045
- Wiseman, C. L., Zereini, F. & Püttmann, W. (2014). Metal translocation patterns in *Solanum melongena* grown in close proximity to traffic. *Environment Science and Pollution Research*, 21 (2), 1572-1581. doi: 10.1007/s11356-013-2039-5
- Yakaboylu, O. (2010). Atık lastik yönetimi ve atık lastik pirolizi modeli için yapılabirlik çalışması. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yang, Z. X., Liu, S. Q., Zheng D. W. & Feng S. D. (2006). Effects of cadmium, zinc and lead on soil enzyme activities. *Journal of Environmental Sciences*, 18 (6), 1135-1141. doi: 10.1007/s11356-009-0134-4
- Zhang, H., Wang, Z. F., Zhang, Y. L., Ding, M. J. & Li, L. H. (2015). Identification of traffic-related metals and the effects of different environments on their enrichment in roadside soils along the Qinghai-Tibet highway. *Science of the Total Environment*, 521, 160-172. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.03.054





# Sezgisel Algoritmalar Kullanılarak İki Boyutlu Dikdörtgen Şerit Paketleme Probleminin Çözümü

Hüseyin Fırat<sup>1\*</sup>, Nuh Alpaslan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> İskenderun Teknik Üniversitesi, Dörtüol MYO, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Hatay, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1257-8518)

<sup>2</sup> Bingöl Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bingöl, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6828-755X)

(İlk Geliş Tarihi 16 Eylül 2019 ve Kabul Tarihi 22 Ekim 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.620618)

**ATIF/REFERENCE:** Fırat, H. & Alpaslan, N. (2019). Sezgisel Algoritmalar Kullanılarak İki Boyutlu Dikdörtgen Şerit Paketleme Probleminin Çözümü. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 315-322.

## Öz

Bu çalışmada, alt sol dolgu, ilk uygun azalan ve uygun olmayan çokgen sezgisel algoritmaları kullanılarak iki boyutlu dikdörtgen şerit paketleme probleminin çözümü üzerine bir yöntem önerilmektedir. İki boyutlu dikdörtgen şerit paketleme problemi (2D-SPP), sabit genişlik ve sonsuz yüksekliğe sahip bir şerit üzerine bir dizi dikdörtgen parçanın yerleştirilmesidir. Amaç, tüm dikdörtgenleri tamamen şeridin içine yerleştirmek için gereken yüksekliği en aza indirmektir. Bu problemin çözümünde, yerleştirme işlemi için alt sol dolgu algoritması, dikdörtgen parçalar arasında oluşabilecek çakışmayı önlemek için uygun olmayan çokgen yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca, parçalar alanlarına göre azalan sırada sıralandıktan sonra yerleştirme işlemi için kullanılacak olan seçim algoritması olarak da ilk uygun azalan sezgisel algoritması kullanılmıştır. 21 farklı veri seti üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiş ve performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda optimal çözüme yakın sonuçlar elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar, 2D-SPP için önerilen sezgisel yöntemlerin etkinliğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Alt-sol dolgu algoritması, Uygun olmayan çokgen yöntemi, İlk uygun azalan sezgisel algoritması, Şerit paketleme problemi

## Solution of Two Dimensional Rectangular Strip Packing Problem Using Heuristic Algorithms

### Abstract

In this study, a method is proposed for the solution of two-dimensional rectangular strip-packing problem by using bottom-left fill, first-fit decreasing and no-fit polygon heuristic algorithms. The two-dimensional rectangular strip-packing problem (2D-SPP) is the placement of a series of rectangular pieces on a strip with a constant width and infinite height. The goal is to minimize the height required to completely place all the rectangles onto the strip. In order to solve this problem, the bottom-left fill algorithm is used for the placement process and the no-fit polygon method is used to prevent the overlap between the rectangular parts. In addition, after the parts are sorted in descending order by areas, the first-fit decreasing heuristic algorithm is used as the selection algorithm for the placement process. The study has been carried out on 21 different data sets and performance evaluation has been done. As a result of conducted experimental studies, near to optimal solutions were obtained. The experimental results show the effectiveness of the proposed heuristic methods for 2D-SPP.

**Keywords:** Bottom-left fill algorithm, No-fit polygon method, First fit decreasing heuristic algorithm, Strip packing problem.

\* Sorumlu Yazar: İskenderun Teknik Üniversitesi, Dörtüol MYO, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Hatay, Türkiye, ORCID: 0000-0002-1257-8518, [huseyin.firat@iste.edu.tr](mailto:huseyin.firat@iste.edu.tr)

## 1. Giriş

Günümüzde, endüstriyel rekabet edebilirlik için, üretim sürecinde malzemelerin kesilmesi veya paketlenmesi ile ilgili çalışmalar dâhil, üretim sürecini optimize etmek finansal yatırım gerektirmektedir. Kesme veya paketlenme işlemleri sırasında ham madde atığının azaltılması, farklı endüstriyel sektörlerde maliyet düşüşünü göstermektedir. Endüstriyel bağlama bakılmaksızın, katı malzemelerin daha küçük parçalar halinde kesilmesi veya boş alanlardaki maddelerin paketlenmesi aynı mantıksal yapıdaki optimizasyon problemleridir. Temel amaç, tüm sorun kısıtlamalarını karşılayan atığı en aza indiren büyük nesnelere (büyük ham madde yüzeyleri) küçük parçaların en iyi çeşitliliğini bulmaktır [1].

Kesme ve paketlenme problemleri, farklı kısıtlamalar ve nesnelere içeren farklı uygulamalarla otomotiv, deri, cam kesme, ahşap, tekstil, hazır giyim imalatı, çok işlemcili görev çizelgeleme, kargo yükleme ve entegre devre tasarımı gibi birçok endüstriyel uygulama alanı bulmaktadır [2]. Örneğin, ahşap veya cam endüstrilerinde, dikdörtgen bileşenlerin büyük malzeme tabakalarından kesilmesi gerekmektedir. Gazete sayfalarında, sayfalardaki makaleler ve reklamlar düzenlenmelidir. Kesme ve paketlenme problemleri NP-Hard olarak tanımlanır, kesin yöntemler kullanarak kesme ve paketlenme problemlerini hesaplamak özellikle çok sayıda ürün içeren büyük nesnelere paketlenme işlemi hesapsal olarak oldukça maliyetlidir.

Kesme ve paketlenme problemleri ile ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Bu problemler, farklı uygulamalarda ortaya çıkabilmekte ve farklı amaç ve kısıtlara sahip olabilmektedir. Problemin farklı versiyonlarını sınıflandırmak için Wäscher tarafından bir tipoloji önerilmekte ve bu tipoloji literatüre önemli katkı sağlamaktadır. Kesme ve paketlenme problemleri tipolojisinde, ilgili problem tiplerini kategoriler halinde sınıflandırmak için farklı kriterler kullanılmaktadır. Bu kriterler, boyut, görev türü, küçük parçaların çeşitliliği, büyük nesne çeşitliliği ve küçük parçaların şekli olarak sıralanmaktadır. Boyut, problemin ilgili boyutlarının (1D-2D-3D) sayısını dikkate almaktadır. Görev türü, amaç fonksiyonunun oryantasyonu ile ilgilenmektedir (çıkış değeri maksimizasyonu veya girdi değeri minimizasyonu). Şekil çeşitliliği ve boyutu (aynı şekiller, az sayıda aynı ve farklı şekiller, çok sayıda aynı şekil ve birkaç farklı şekil, birçok aynı ve birçok farklı şekil), küçük parçaların çeşitlerini tanımlamaktadır. Benzer şekilde, büyük nesnelere çeşitliliği için bir nesnenin (sabit boyut ve değişken boyutta olan) veya sabit boyutlara sahip birkaç büyük nesnenin (özdeş nesnelere, zayıf heterojen veya güçlü heterojen) boyutlarının ve şekillerinin değişimleri göz önünde bulundurulmaktadır. Son olarak, yerleşim işlemi için kullanılacak parçalar/şekiller düzenli (dikdörtgen veya daireler) veya düzensiz şekillere sahip olabilmektedir [3].

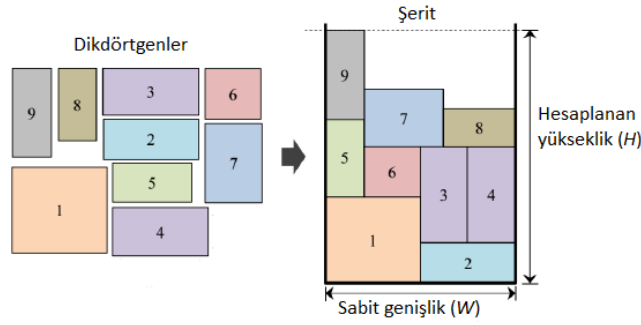
İki boyutlu dikdörtgen şerit paketlenme problemi ise, atıkların (büyük nesnenin kullanılmayan bölgeleri) minimize edilmesi için, küçük nesnelere büyük bir nesneden kesilmesi veya büyük nesne üzerine paketlenmesi gereken genel kesme ve paketlenme problemleri sınıfı içerisinde yer almaktadır. 2D-SPP, iyi bilinen birleştirici optimizasyon problemidir. Rulo kâğıtların, ahşap ve çelik levhaların veya tekstil malzemelerinin kesilmesi gibi çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu problemler, tüm öğelerin dikdörtgen olduğu ve bu nedenle tam olarak bir genişlik ve yükseklik ile karakterize edilen özel kesme ve paketlenme problemlerine yaklaşmakta ve yerleştirme için kullanılan büyük nesne bir şerit, yani sabit genişlikte fakat sonsuz bir yüksekliğe sahip bir dikdörtgendir. Bu problemlerin amacı, tüm dikdörtgenleri şerit üzerine yerleştirerek yüksekliği en aza indirmektir. Bu problemler, klasik kesme ve paketlenme problemlerinin bir alt kümesi olduklarından, NP-Hard problemler olarak tanımlanmaktadır [4]. 2D-SPP problemleri çözmek için, literatürde farklı metodolojilere sahip çeşitli sezgisel ve meta-sezgisel algoritmalar sunulmaktadır. [5] nolu çalışmada, dikdörtgen şerit paketlenme problemi için ikili arama sezgisel algoritması anlatılmıştır. İlk önce optimizasyon problemi bir karar problemine dönüştürülmüştür. İlgili karar problemini çözmek için en az atık harcayan bir strateji ve en az salınan bir ilk strateji önerilmiştir. Son olarak, orijinal optimizasyon problemini çözmek için rastgele yerel aramaya dayalı bir ikili arama sezgisel algoritması geliştirilmiştir. Altı karşılaştırmalı sınıf probleminin hesaplamalı sonuçları, sunulan algoritmanın, sıfır atık örneklerin çoğu için yayınlanan en iyi sezgisel algoritmalarından daha makul bir sürede daha iyi çözümler bulabildiği gösterilmiştir. [6] nolu çalışmada, iki boyutlu dikdörtgen şerit paketlenme problemi için içbükey köşe stratejisine göre en uygun yöntemi anlatılmıştır ve bu yöntem literatürdeki sezgisel ve metasezgisel yöntemler ile karşılaştırılmıştır. Geliştirilmiş olan yöntemin 50 ve daha fazla parça yerleşimi için daha iyi paketlenme düzenleri üretebileceği ve kısa sürede daha iyi sonuçlar alınacağı gösterilmiştir. [7] nolu çalışmada, yönlendirilmemiş 2D-SPP'yi çözmek için fruit fly optimizasyon algoritması (FOA) kullanılarak bir çözüm sunulmuştur. Çalışmanın amacı, şeritlerin içindeki dikdörtgenlerin optimal dizisini bulmak ve sonra dikdörtgenleri, sabit genişlikli bir kutu içerisinde optimal yüksekliğe sahip olacak şekilde alt sol dolgu yaklaşımıyla yerleştirmektir. Deneysel çevrimiçi olarak sunulan 2D-SPP test problemleri seti üzerinde sonuçlandırılmıştır. Çalışmanın ön sonuçları, aynı problem kümesini kullanan bazı geleneksel ya da sezgisel yaklaşımların sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar ile 2D-SPP'lerin çözülmesi için FOA tarafından elde edilen sonuçların iyi olduğu gösterilmiştir.

Bu çalışmada ise, alt sol dolgu, ilk uygun azalan ve uygun olmayan çokgen sezgisel algoritmaları kullanılarak iki boyutlu dikdörtgen şerit paketlenme problemine çözüm sunulmuştur. Çalışmadaki temel amaç, sabit genişlikte ve sınırsız yükseklikte bir şerit/levha üzerine yerleştirme işlemi için kullanılacak bir dizi dikdörtgen parçanın tamamını yerleştirerek yüksekliği minimize etmek ve buna bağlı olarak verimi maksimize etmektir.

Bu çalışma kapsamında, ilk bölümde kesme ve paketlenme problemleri ile şerit paketlenme problemi hakkında bilgiler verilmiş ve şerit paketlenme problemi ile ilgili literatürde yapılmış olan çalışmalardan bazıları açıklanmıştır. İkinci bölümde şerit paketlenme probleminin tanımı yapılmıştır. Üçüncü bölümde, uygulama kapsamında kullanılan veri seti, yöntemler ve önerilen yöntem açıklanmıştır. Dördüncü bölümde, uygulama sonuçları ve beşinci bölümde ise sonuçlara yer verilmiştir.

## 2. 2D-SPP Problemi

Sabit genişlikte dikdörtgen bir şerit/levha ve rasgele boyutlarda bir dizi dikdörtgen parça verilmişse, dikdörtgenlerin şerit paketleme problemi, verilen tüm dikdörtgenleri şerit üzerine yerleştirmekte ve kullanılan şeridin yüksekliğini minimize etmeyi amaçlamaktadır.  $W$  şeridin genişliğini,  $H$  şeridin sınırsız yüksekliğini,  $w$  ve  $h$  ise yerleştirme işlemi için kullanılacak olan dikdörtgen parçaların sırasıyla genişlik ve yüksekliğini temsil etmektedir.  $P = \{p_i(w_i, h_i), i = 1, 2, 3, \dots, n\}$   $n$  tane yerleştirilecek dikdörtgen dizisini ifade etmektedir. Paketleme işlemi yapılırken şu kısıtlamalar yerine getirilmelidir: Her  $p_i$  dikdörtgen parçası genişliği  $w_i$  ve yüksekliği  $h_i$  ( $w_i, h_i \in Z^+$ ) olan ve genişliği  $W$ 'dan büyük olmayan en az bir kenara sahiptir. Paketlenmiş dikdörtgenlerin her bir kenarı, aynı zamanda dikey paketleme olarak da adlandırılan bir kenara paralel olmalıdır ve herhangi iki paketlenmiş dikdörtgen birbirinin üstüne gelmemelidir. Algoritmanın amacı, tüm parçaları dikey veya yatay olarak şeridin üzerine paketlemektir. Yerleştirme işlemi yapılırken parçalar  $90^\circ$  döndürülebilmekte, aynı zamanda şeridin kullanılan  $H$  yüksekliği Şekil 1'de gösterildiği gibi iki parça arasında çakışma olmadan minimize edilmektedir.



Şekil 1. 2D-SPP'nin genel görünümü [1]

Problemin matematiksel formülasyonu ise şu şekilde tanımlanabilir:  $W$  genişliğinde ve  $H$  yüksekliğinde şerit/levha üzerine,  $w_i$  genişliğinde ve  $h_i$  ( $1 \leq i \leq n$ ) yüksekliğinde  $n$  tane dikdörtgen parçanın paketlenme probleminde, her bir dikdörtgenin şerit üzerine paketlenip paketlenmediğini kontrol etmek  $f_i$  ile gösterilsin.  $f_i = 1$  ise paketleme işlemi gerçekleşmiş,  $f_i = 0$  ise paketleme işlemi gerçekleşmemiştir. Şerit üzerine yerleştirilecek her dikdörtgen  $p_i$  için,  $(x_{li}, y_{li})$  sol alt köşenin koordinatlarını,  $(x_{ri}, y_{ri})$  sağ üst köşenin koordinatlarını belirtsin.

$$\max \sum_{i=1}^n f_i w_i h_i \quad (1)$$

$$(0 \leq x_{li} \leq x_{ri} \leq W \text{ or } 0 \leq y_{li} \leq y_{ri} \leq H) \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

$$(x_{ri} - x_{li} = w_i \wedge y_{ri} - y_{li} \leq h_i) \text{ or } (x_{ri} - x_{li} = h_i \wedge y_{ri} - y_{li} \leq w_i) \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

$$(x_{li} \geq x_{rj} \text{ or } x_{lj} \geq x_{ri} \text{ or } y_{li} \geq y_{rj} \text{ or } y_{lj} \geq y_{ri}) \quad (i = j = 1, 2, \dots, n) (i \neq j) \quad (4)$$

$$f_i \in \{0, 1\} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

Denklem 1, paketleme işlemi için kullanılan dikdörtgen parçaların yerleştirilmesi sonucunda elde edilen verimlilik değerinin hesaplanması için kullanılmaktadır. Denklem 2, her dikdörtgenin şeridin sınırları içine yerleştirilmiş olduğu anlamına gelmektedir. Denklem 3, paketlenen dikdörtgenlerin döner olabilir olduğunu, Denklem 4, paketlenen dikdörtgenlerin birbiri ile örtüşmeyeceğini ve Denklem 5 ise, paketleme işlemi için kullanılacak olan her bir dikdörtgenin paketlenip paketlenmeyeceğini belirtmektedir.

## 3. Materyal ve Metot

### 3.1. Veri Seti

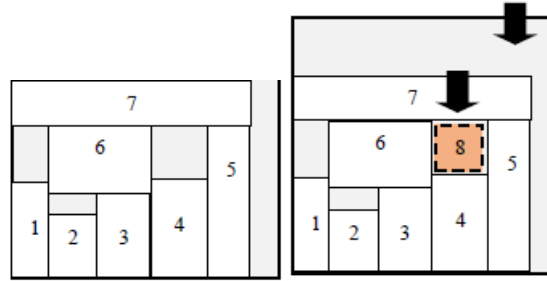
Test amacıyla Hopper ve Turton tarafından sunulan veri seti bu çalışmada kullanılmıştır [8]. Bu veri setinde 7 sınıfta 21 örnek bulunmaktadır ve her problem sınıfında ise 3 örnek vardır. Problem veri seti Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan veri setinin gösterimi

Sınıf	Dikdörtgenlerin sayısı	Genişlik	Optimal yükseklik
C1	16 veya 17	20	20
C2	25	40	15
C3	28 veya 29	60	30
C4	49	60	60
C5	72 veya 73	60	90
C6	97	80	120
C7	196 veya 197	160	240

### 3.2. Alt Sol Dolgu Yerleşim Yöntemi

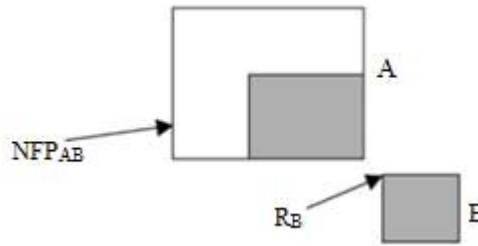
2D-SPP çözümünde, dikdörtgenlerin yerleşimi için kullanılan yerleşim yöntemidir. Alt sol dolgu yerleşim yöntemi, yerleşim modelinde mevcut boş alanlara uygun parçaların yerleştirildiği bir yöntemi kapsamaktadır. Bu algoritma, Şekil 2’de gösterildiği gibi parçaları daha önce konumlandırılmış olanlarla örtüşmeden, yerleştirme işleminin yapılacağı yüzeyin alt sol yerine mümkün olduğu kadar sırayla ve boşlukları doldurarak yerleştirmeyi içermektedir. Şekil 2’de 1’den 7’ye kadar olan parçalar yerleştirildikten sonra 8 numaralı parçanın yerleşimi alt sol dolgu algoritmasıyla mevcut boşluğa yerleştirilmiştir [9].



Şekil 2. Alt sol dolgu yerleşim yöntemi [9]

### 3.3. Uygun Olmayan Çokgen Yöntemi

Uygun olmayan çokgen (No-fit polygon/NFP) yöntemi, 2D-SPP için yerleştirilecek olan dikdörtgen parçalar arasında çakışma olup olmadığını test etmek için kullanılan güçlü bir yapıdır. Uygun olmayan çokgen yönteminin ana işlevi, iki çokgenin kesiştiği bölgeyi tanımlamaktır. Diğer bir deyişle, iki çokgenin çakışmasını önlemektir. Şekil 3’teki örnek, uygun olmayan çokgen yapısına genel bir bakış sunmaktadır.



Şekil 3. Uygun olmayan çokgen gösterimi

İki dikdörtgen şekil A ve B göz önüne alındığında, uygun olmayan çokgen, bir şeklin diğer şeklin sınırı etrafında izlenmesiyle bulunabilmektedir. Dikdörtgen şekillerden biri yerinde sabit kalırken, diğer şekil ise sabit şekil etrafında hareket etmektedir. Ancak bu hareket sırasında şekiller birbirlerine dokunmasına rağmen asla kesişmezler. Şekil 3’te gösterildiği gibi ilk dikdörtgen şekil (A) sabit olduğu kabul edilirken, ikinci dikdörtgen şekil (B), sabit şekil (A) etrafındaki yörüngede olduğu kabul edilmektedir. Bundan dolayı B şekli A sabit şekil etrafında dolaştığında uygun olmayan çokgen  $NFP_{AB}$  olarak gösterilmektedir.  $NFP_{AB}$  oluşturulurken, B şekli A şeklinin etrafında hareket ederken takip edilecek bir referans noktası ( $R_B$ ) seçilmelidir ve bu referans noktası B dikdörtgen şeklinden seçilmektedir. Referans noktası, yörüngedeki dikdörtgen şeklin hareketlerini izlemesi koşuluyla isteğe bağlı herhangi bir nokta olabilmektedir. Şekil B’nin sabit şekil A ile çakışıp çakışmadığını test etmek için  $NFP_{AB}$  ve B şeklinin referans noktası kullanılmaktadır. Eğer şekil B’nin referans noktası  $NFP_{AB}$  içinde olacak şekilde konumlandırılırsa, o zaman şekil A ile çakışmaktadır. Referans noktası  $NFP_{AB}$  sınırında ise, şekil B şekil A’ya dokunmaktadır. Ancak bu durum çakışma değildir. Son olarak, referans noktası  $NFP_{AB}$ ’nin dışındaysa, dikdörtgen şekiller A ve B çakışmamakta veya birbirlerine dokunmamaktadırlar. Dolayısıyla, hesaplanan  $NFP_{AB}$ ’nin iç kısmı, A ve B şekillerinin kesişen tüm konumlarını temsil etmekte ve sınır tüm temas eden konumları temsil etmektedir.

### 3.4. İlk Uygun Azalan Sezgisel Algoritması

İlk uygun azalan sezgisel algoritması, yerleştirilecek olan dikdörtgen parçalar alanlarına göre azalan sırada sıralandıktan sonra seçim algoritması olarak kullanılan algoritmadır. Bu algoritmanın işleyişi şu şekildedir. Öncelikle yerleştirilecek olan dikdörtgenlerin alanları hesaplanır ve azalan sırada sıralanır. Yerleştirme işlemine alanı en büyük olan dikdörtgen parça ile başlanılır. İlk parça yerleştirildikten sonra, ikinci parça için uygun konum bulunur ve ikinci parçanın yerleşimi de gerçekleştirilir. Bu işlem tüm parçalar uygun konumlara yerleşene kadar devam eder [10]. Burada yerleştirme işlemi gerçekleştirilirken, parçaların çakışmama durumu ve yerleştirme işlemi için kullanılan alt sol dolgu algoritmaları da göz önünde bulundurulur. Bu algoritmanın avantajı, bize yerleştirilecek olan dikdörtgen parçaların yerleşim sırasını vermektedir.

### 3.5. Önerilen Yöntem

Bu çalışmada, üçüncü bölümde anlatılan alt sol dolgu yerleşim yöntemi, uygun olmayan çokgen yöntemi ve ilk uygun sezgisel algoritması kullanılarak iki boyutlu dikdörtgen şerit paketleme problemine çözüm aranmaktadır. Dikdörtgen parçaların yerleşim sırasını elde etmek için ilk uygun azalan sezgisel algoritması kullanılmaktadır ve alt sol dolgu algoritması kullanılarak dikdörtgenlerin paketlenmesi gerçekleştirilmektedir. Dikdörtgen şerit üzerine paketlenen dikdörtgen parçalar yatay ve dikey olarak yerleştirilebilir. Paketleme işleminde kullanılacak olan parçaların üst üste gelmeden yerleştirme yapılacak şerit üzerine en verimli şekilde yerleştirilmesi sağlanmaktadır. Parçalar 90 derece döndürülebilmektedir. Önerilen yöntemde, dikdörtgen parçaların şerit üzerine paketlenmesi için başlangıç noktası belirlenir. Dikdörtgen parçalar alanlarına göre büyükten küçüğe doğru sıralı olarak ele alınır ve yerleştirme işlemi en fazla alana sahip dikdörtgen ile başlar ve daha sonra yerleştirilecek her dikdörtgen parça alanlarına göre uygun konumlara yerleştirilir. Önerilen yöntem ile geliştirilen uygulamalarda başlangıç noktası sol üst köşe seçilmiştir. Önerilen çözüm yönteminin akış diyagramı Şekil 4'te gösterilmiş ve algoritma adımları ise aşağıda belirtilmiştir.

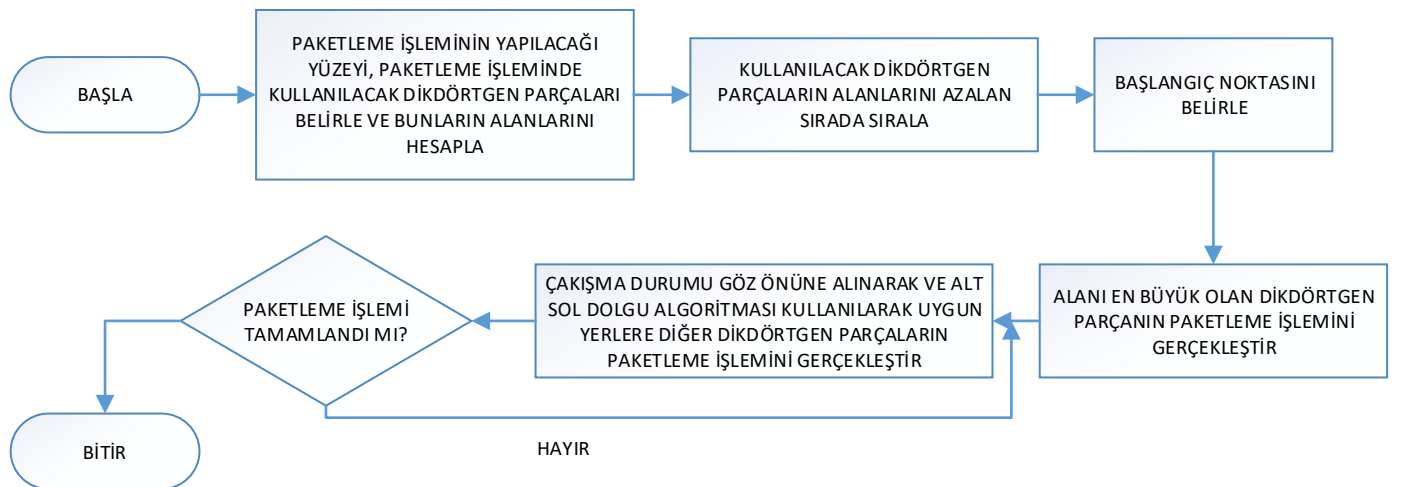
**Adım 1:** Paketleme işlemine başlamadan önce paketleme işleminin yapılacağı şerit/levha, paketleme işleminde kullanılacak olan  $n$  tane dikdörtgen parçanın boyutları belirlenmeli ve bunların alanları hesaplanmalıdır.

**Adım 2:** Paketleme işleminde kullanılacak dikdörtgen parçalar alanlarına göre azalan sırada sıralanır.

**Adım 3:** Paketleme işlemi için kullanılacak olan parçalar alanlarına göre büyükten küçüğe doğru sıralandıktan sonra paketleme işleminin yapılacağı başlangıç noktası belirlenir.

**Adım 4:** Parçaların yerleşimi için başlangıç noktası belirlendikten sonra alanı en büyük olan ilk dikdörtgen parçanın yerleşimi gerçekleştirilir. Diğer parçaların yerleşim işleminin yapılması için uygun konumlar belirlenir. Alt-sol dolgu yerleşim algoritması kullanılarak bir yerleşim modeli oluşturulmakta ve dikdörtgen parçaların dönme durumu ile parçalar arasındaki çakışma durumu göz önüne alınarak tüm parçalar yerleştirilinceye kadar paketleme işlemi devam ettirilmektedir.

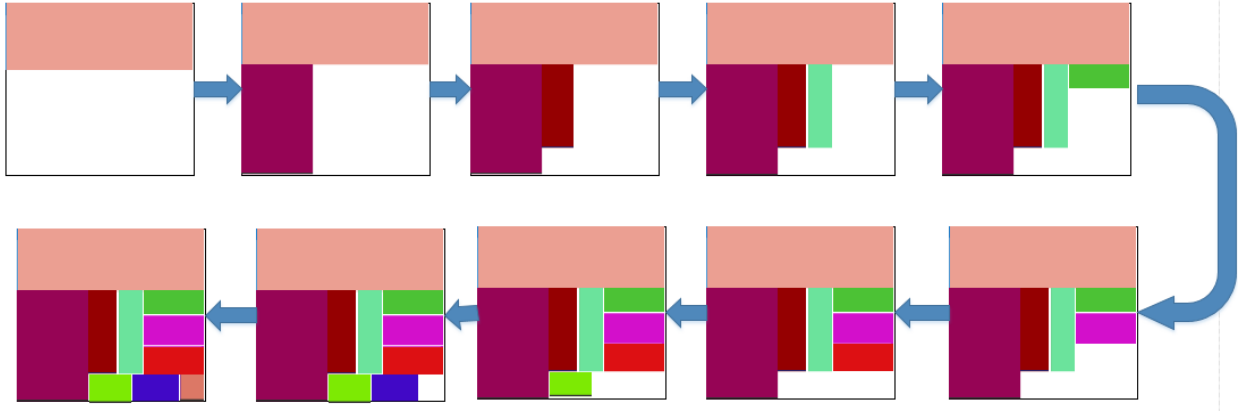
**Adım 5:** Tüm dikdörtgen parçaların paketleme işlemi tamamlandıktan sonra elde edilen yükseklik değeri hesaplanmaktadır.



Şekil 4. Önerilen yöntemin akış diyagramı



Paketleme işlemi için kullanılacak olan şeridin genişliği 40, kullanılacak olan dikdörtgen parçaların boyutları ise (7, 6), (4, 4), (40, 16), (7, 8), (5, 20), (4, 20), (24, 24), (5, 4), (7, 4), (7, 6) şeklinde verilmiş olsun. Başlangıç noktası sol üst köşe seçilerek paketleme işlemine başlanmıştır. Önerilen yöntemle geliştirilen örnek uygulamada 10 adet dikdörtgen parçanın yerleşim işlemi Şekil 5'teki gibidir. Örnek uygulamada şeridin yüksekliği 40 çıkmış ve tüm parçalar şerit üzerine yerleşmiştir.



Şekil 5. Önerilen yöntem için geliştirilen örnek uygulama

#### 4. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Uygulamalar java programlama dilinde NetBeans IDE 8.2 programı kullanılarak kodlanmıştır. Önerilen yöntem ile gerçekleştirilen uygulamalar sonucu oluşan yerleşim modelleri ile elde edilen yükseklik değerleri hesaplanmış ve bu modellerin optimal çözüme yakınlıkları incelenmiştir. Ayrıca çalışma, en uygun (Best-Fit/BF), meta-sezgisel yöntemlerden genetik algoritma ile alt-sol dolgu (Bottom-left fill) (GA+BLF), benzetimli tavlama ile alt-sol dolgu (Simulated Annealing/SA+BLF) ile yapılan çalışmalar ile karşılaştırılmış [11] ve problemdeki dikdörtgen sayısı arttıkça önerilen yöntemin daha etkin olduğu sonucu çıkarılmıştır. *C* kategori, *P* problem, *DS* dikdörtgen sayısı, *H* optimal yükseklik, *ÖY* önerilen yöntem sonucu elde edilen yükseklik değeri olmak üzere, BF, GA+BLF ve SA+BLF sonucunda elde edilen yükseklik değerleri ile önerilen yöntem sonucunda elde edilen yükseklik değerlerinin karşılaştırılması Tablo 2'de ve optimal yükseklik değeri ile elde edilen yükseklik değerleri arasındaki fark ise Tablo 3'te gösterilmektedir.

Tablo 2. Önerilen yöntem ile GA+BLF, SA+BLF ve BF karşılaştırılması

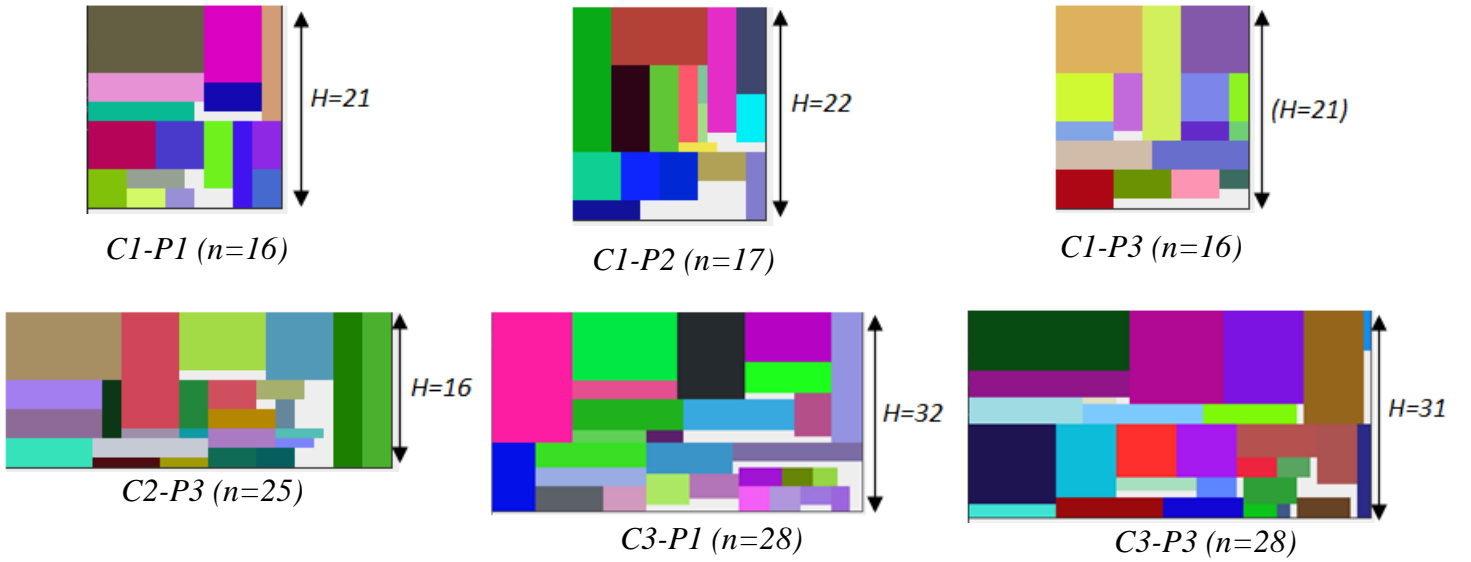
<i>C</i>	<i>P</i>	<i>DS</i>	<i>H</i>	GA + BLF[11]	SA + BLF[11]	BF[11]	ÖY
C1	P1	16	20	<b>20</b>	<b>20</b>	21	21
	P2	17	20	<b>21</b>	<b>21</b>	22	22
	P3	16	20	<b>20</b>	<b>20</b>	24	21
C2	P1	25	15	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	17
	P2	25	15	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	17
	P3	25	15	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>
C3	P1	28	30	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>32</b>
	P2	29	30	<b>32</b>	<b>32</b>	34	33
	P3	28	30	<b>32</b>	<b>32</b>	33	<b>31</b>
C4	P1	49	60	64	64	63	<b>62</b>
	P2	49	60	63	64	<b>62</b>	<b>62</b>
	P3	49	60	<b>62</b>	63	<b>62</b>	<b>62</b>
C5	P1	72	90	95	94	<b>93</b>	<b>93</b>
	P2	73	90	95	95	<b>92</b>	<b>92</b>
	P3	72	90	95	95	<b>93</b>	<b>93</b>
C6	P1	97	120	127	127	<b>123</b>	<b>123</b>
	P2	97	120	126	126	<b>122</b>	<b>122</b>
	P3	97	120	126	126	<b>124</b>	<b>124</b>
C7	P1	196	240	255	255	247	<b>244</b>
	P2	197	240	251	253	244	<b>243</b>
	P3	196	240	254	255	245	<b>244</b>

Tablo 3. GA+BLF, SA+BLF, BF ve ÖY yükseklik değerlerinin optimal çözüme yakınlıkları

	C1			C2			C3			C4			C5			C6			C7		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
GA+BLF	0	1	0	1	1	1	2	2	2	4	3	2	5	5	5	7	6	6	15	11	14
SA+BLF	0	1	0	1	1	1	2	2	2	4	4	3	4	5	5	7	6	6	15	13	15
BF	1	2	4	1	1	1	2	4	3	3	2	2	3	2	3	3	2	4	7	4	5
ÖY	1	2	1	2	2	1	2	3	1	2	2	2	3	2	3	3	2	4	4	3	4

Tablo 3'te GA+BLF, SA+BLF, BF ve ÖY yöntemlerinde elde edilen yükseklik değerleri ile optimal çözüm yükseklik değerleri arasındaki farka bakıldığında parça sayısı arttıkça önerilen yöntemin daha etkin olduğu gözlemlenmektedir.

Hopper ve Turton veri seti üzerinde geliştirilen uygulamalar sonucunda elde edilen örnek paketleme düzenlerinin bazıları Şekil 6'da ve C6-P1 için de Şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 6. Geliştirilen örnek uygulamaların paketleme düzeni

## 5. Sonuç

Bu çalışmada, iki boyutlu dikdörtgen şerit paketleme problemine alt sol dolgu, uygun olmayan çokgen ve ilk uygun azalan sezgisel yöntemleri kullanılarak çözüm sunulmuştur. Geliştirilen yöntem, literatürden alınan bir dizi örnek üzerinde test edilmiştir ve bazı sezgisel (BF) ve meta-sezgisel (GA+BLF ve SA+BLF) yöntemler kullanılarak yapılan çalışmalar ile karşılaştırılmıştır ve optimal yükseklik değerine yakınlıkları incelenmiştir. Deneysel sonuçlar, geliştirilen yöntem ile yapılan çalışmaların BF, GA+BLF ve SA+BLF ile yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen yükseklik değerlerine yakın sonuçların olduğu gözlemlenmiştir. Dikdörtgen sayısı arttıkça, geliştirilen yöntemin daha etkin olduğu sonucu çıkarılmıştır.



Şekil 7. Önerilen yöntem için C6-P1 (n=97) paketleme sonucu

## Kaynakça

- [1] A. Neuenfeldt, The Two-Dimensional Rectangular Strip Packing Problem, :December 2017 (2017).
- [2] D. Zhang, L. Shi, S. C. H. Leung, and T. Wu, A priority heuristic for the guillotine rectangular packing problem, Information Processing Letters, 116:1 (2016) 15–21.
- [3] G. Wäscher, H. Haußner, and H. Schumann, An improved typology of cutting and packing problems, European Journal of Operational Research, 183:3 (2007) 1109–1130.
- [4] D. Zhang, Y. Kang, and A. Deng, A new heuristic recursive algorithm for the strip rectangular packing problem, Computers and Operations Research, 33:8 (2006) 2209–2217.
- [5] D. Zhang, L. Wei, S. C. H. Leung, and Q. Chen, A binary search heuristic algorithm based on randomized local search for the rectangular strip-packing problem, INFORMS Journal on Computing, 25:2 (2013) 332–345.
- [6] V. M. Kotov and D. Cao, A heuristic algorithm for the non-oriented 2D rectangular strip packing problem, Buletinul Academiei de Stiinta a Republicii Moldova. Matematica, 66:2 (2011) 81–88.
- [7] I. Babaoğlu, Solving 2D strip packing problem using fruit fly optimization algorithm, Procedia Computer Science, 111:2015 (2017) 52–57.
- [8] E. Hopper and B. C. H. Turton, Empirical investigation of meta-heuristic and heuristic algorithms for a 2D packing problem, European Journal of Operational Research, 128:1 (2001) 34–57.
- [9] K. Daoden and T. Thaiupathump, Applying shuffled frog leaping algorithm and bottom left fill algorithm in rectangular packing problem, Proceedings of 2017 IEEE 7th International Conference on Electronics Information and Emergency Communication, ICEIEC 2017, July 2017 (2017) 136–139.
- [10] E. Albayrak, İki boyutlu dikdörtgen şekilli stok kesme problemleri için sezgisel-metasezgisel algoritma ve yazılım geliştirme, Balıkesir, ocak - 2013, (2013)
- [11] E. K. Burke, G. Kendall, and G. Whitwell, A New Placement Heuristic for the Orthogonal Stock-Cutting Problem, Operations Research, 52:4 (2004) 655–671.



## Diyarbakır Halkının Rekreatyonal Eğilim ve Taleplerinin Değerlendirilmesi: Kent Meydanı Parkı Örneği

Candan Kus Sahin<sup>1\*</sup>, Pınar Güneş<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 32260 Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0413-2380)

<sup>2</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 32260 Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4315-5059)

(İlk Geliş Tarihi 10 Eylül 2019 ve Kabul Tarihi 22 Ekim 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.617926)

**ATIF/REFERENCE:** Şahin, C. & Güneş, P. (2019). Diyarbakır Halkının Rekreatyonal Eğilim ve Taleplerinin Değerlendirilmesi: Kent Meydanı Parkı Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 323-337.

### Öz

Rekreasyon, gerek insanlara kattığı yapıcı ve olumlu özellikleri, gerekse günümüz kent ve iş ortamının olumsuz koşullarının etkisi nedeniyle insanlar için bir gereksinimdir. Zamanla meydana gelen teknolojik gelişmelerin insan yaşantısını kolaylaştırırken, bazı sorunları da beraberinde getirmesi, rekreasyon talep ve gereksiniminin artmasına neden olmaktadır. Diyarbakır kent halkının rekreatyonal eğilim ve taleplerinin belirlenmesi ve kentsel rekreasyon alanlarının kalitesinin artırılmasına yönelik olarak bu çalışma yapılmıştır. Çalışma kapsamında anket bulguları ile kent halkının rekreasyona katılımı, rekreasyon tür ve alan tercihi, bu alanlarla ilişkileri, alanlardan memnuniyet durumları ve talepleri ortaya konarak, katılımcıların sosyoekonomik yapılarının rekreatyonal eğilim ve taleplerini ne şekilde yönlendirdiği Diyarbakır Kent Parkı örneğinde belirlenmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen verilerin değerlendirilmesiyle; Diyarbakır halkının rekreasyon alan ve tür tercihinin uzaklık, gelir, eğitim gibi faktörlerin etkisiyle farklılıklar gösterdiğini; kent içi ve kent çevresindeki rekreasyon alanlarının kullanımında benzerlikler olduğunu; kentsel rekreasyon alanlarının sayı ve nitelik yönünden yetersiz bulunduğunu ve olanakların artırılması yönünde taleplerin olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, katılımcı eğilimleri ve talepleri incelendiğinde kentsel rekreasyon alanlarının yetersiz ve kalitesiz olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu bağlamda, Diyarbakır kent halkının rekreatyonal eğilim ve taleplerinin belirlenmesi, planlama çalışmalarına katkılarının sağlanması, kullanıcı beklentilerinin karşılanması açısından önemlidir.

**Anahtar Kelimeler:** Rekreasyon, Rekreatyonal eğilim, Diyarbakır, Kent meydanı parkı

## Determination of Recreational Tendency and Demands of Diyarbakır People: Case Study of City Square Park

### Abstract

Recreation has become a necessity for people who impact of the negative conditions of today's urban and business environment. In this context, the constructive and positive features effects to the people. However, the technological developments that have occurred over time bring some problems that the demand and need for recreational activities increase for making human life easier. In this study, a research was carried out to determine the recreational tendencies and demands of the urban people of Diyarbakır and to improve the quality of urban recreation areas in Diyarbakır city. In the scope of the study, the survey findings and the participation of people's opinions on the recreation, the type and preferences, relations with these areas, satisfactions and demands were determined. Hence, the socioeconomic structures of the participants with their recreational tendencies and demands were determined for City Square Park. By evaluating the data obtained within the scope of the study; Diyarbakır people's recreational tendencies, preferences, distances, income status, educational levels that show differences. Moreover, there are similarities in the use of recreation areas in and around the city. It is determined that urban recreation areas are insufficient in terms of number and quality while there are increasing demands for recreational opportunities. In addition, when the participant tendencies and demands were examined, it was concluded that urban recreation areas were inadequate and of poor quality. In this sense, it is important to determine the recreational

tendencies and demands of the people of Diyarbakır, in order to contribute to the planning activities and to meet the expectations of the users in future.

**Keywords:** Recreation, recreational tendency, Diyarbakır, City Square Park

## 1. Giriş

Rekreasyon, gerek insanlara kattığı yapıcı ve olumlu özellikleri, gerekse günümüz kent ve iş ortamının olumsuz koşullarının etkisi nedeniyle insanlar için önemli bir gereksinimdir. Zamanla meydana gelen teknolojik gelişmelerin insan yaşantısını kolaylaştırırken bazı sorunları da beraberinde getirmesi, rekreasyon talep ve gereksiniminin artmasına neden olmaktadır. İnsanların yaşam koşullarını kolaylaştıran teknolojik yenilik ve değişimler, insanlara fiziksel açıdan yardımcı olmakla birlikte, gündelik yaşantıda stres, gürültü, çeşitli çevre sorunları gibi olumsuz sonuçlarla karşı karşıya bırakmaktadır. Kentlerde görülen trafik sorunları, hava kirliliği, doğal alanların hızla tahrip edilmesi, aşırı nüfus artışı ile şekillenen kentsel alanların olumsuz özellikleri, insanların serbest zamanlarını geçirebilecekleri, sosyo-kültürel ve fizyolojik açılardan çeşitli şekillerde yararlanabilecekleri ortamlara gereksinim duymalarına neden olmaktadır. Kentlerde, bu gereksinimlerin karşılanmasına yönelik mekânlarının oluşturulmasında, rekreasyonel eğilim ve taleplerin belirlenmesi önemlidir.

Rekreasyonel talep ve gereksinimler; cinsiyet, eğitim durumu, yaş, gelir gibi kişisel faktörler nedeniyle farklılık gösterebildiği gibi, kentlerin doğal, sosyal ve kültürel yapısı ile bu yapıda meydana gelen değişimler de rekreasyonel eğilimleri etkilemekte, kişi kendi algı, istek ve olanaklarına göre rekreasyon aktivitelerine katılmaya karar vermekte ve rekreasyonel davranışlar kentten kente farklılıklar gösterebilmektedir. Bu farklılıkların belirlenmesi, insanları ne tür rekreasyon aktivitelerine ve hangi alanlara yönlendirdiğinin anlaşılması, tüm halkın rekreasyon gereksiniminin karşılanması açısından gereklidir. Tüm sosyo-ekonomik yapıdaki insanlar için rekreasyon olanaklarının sağlanması, rekreasyon seçimini yönlendiren faktörlerin planlamaya yansıtılmasıyla mümkün olacaktır.

Rekreasyonel talep ve eğilimlerin belirlenmesi, kent planlama çalışmalarına ve bununla bağlantılı olarak rekreasyonel planlamaya ve rekreasyona kaynak oluşturan açık ve yeşil alanların planlanmasına, halkın katılımını sağlayacak ve aynı zamanda gereksinimlerini karşılayacak en iyi çözümlerin üretilmesine yardımcı olacaktır.

Bu araştırmanın amacı; Diyarbakır kent halkının rekreasyonel eğilim ve taleplerinin belirlenmesi, bu taleplerin karşılanmasına ve rekreasyon alanlarının kalitesinin artırılmasına yönelik önerilerin sunulmasıdır. Bu bağlamda Diyarbakır kent halkının rekreasyonel eğilim ve taleplerinin belirlenmesi, planlama çalışmalarına katkılarının sağlanması, kullanıcı beklentilerinin karşılanması açısından önemlidir. Ayrıca kentlerin doğal, sosyal ve kültürel yapısının da etkileriyle oluşan, her kentin kendine özgü rekreasyonel eğilimlerinin Diyarbakır Kenti ölçeğinde belirlenmesi, Diyarbakır Kenti'ne yönelik rekreasyonel planlamanın gerçekleştirilmesine katkı sağlaması açısından önemlidir.

### 1.1. Rekreasyon Kavramı

Rekreasyon kavramı, Latince 're-tekrar' ve 'create-yaratma' sözcüklerinin birleşmesinden oluşmuş olup yenilenme, bir şeyin yeniden yaratılması, kazanılması anlamına gelmektedir (Akten, 2003). Genel olarak rekreasyon; insanların serbest zamanlarında, eğlence amacıyla, gönüllü olarak katıldıkları, bedensel ve ruhsal yorgunlukları gideren, insanlara fiziksel, ruhsal ve yaratıcı güç kazandıran aktiviteler olarak tanımlanmaktadır (Sağcan, 1986).

Güleç (1990)'e göre rekreasyon; "kişilerin günlük yaşamlarında, zorunlu olarak kullandıkları zamanların dışında, serbest zamanlarında, yıpranan ruh ve vücutlarını, eski zindeliğine kavuşturmak amacıyla, kendi isteği ile yaptığı etkinlik ya da etkinlikler" dir (Müderrişoğlu, 2002). Rekreasyonun oldukça kapsamlı bir aktivite olduğunu vurgulayan ve kelimenin anlamını kısıtlamama yanlısı tanımlamalar da yapılmaktadır. Butler vd. (1998) rekreasyonu; zorunluluklar dışında kalan serbest zamanlarda, zevk alma ve memnuniyet sağlama amacıyla yapılan gönüllü aktiviteler olarak, Kelly (1990) ise; katılımcılarına yarar sağlayan, zorunlu işler dışındaki tüm aktiviteler olarak tanımlamaktadır.

Rekreasyona duyulan gereksinim ile bu gereksinimin karşılanması için yaratılan kolaylıklar, kentleşme ve endüstrileşmenin yarattığı sonuçlardır (Özgüç, 2003). Endüstri devrimi sonrasında meydana gelen gelişmelerle sosyal yaşamda köklü değişiklikler yaşanmış, insanların eğlenme ve dinlenme aktiviteleri için ayırdıkları zaman ve olanaklar artmıştır (Bakır, 1990). Rekreasyon, günümüzde sağlıklı yaşamın devam ettirilebilmesi için bir gereksinim ve yaşam kalitesini etkileyen önemli bir unsur olarak görülmektedir (Nalbantoğlu, 1997).

Rekreasyon anlayışında zamanla değişimler ortaya çıkmıştır. Bu değişimlerin nedenlerinden birisi, çalışma sürelerinin azalmasıyla, insanların farklı aktiviteler için ayırabilecekleri serbest zamanların artmasıdır. Rekreasyon, serbest zamanları olanların gerçekleştirebileceği bir aktivite türüdür (Sağcan, 1986). Serbest zaman kavramından ilk söz edenlerden Aristo bu zamanı; "her uygar kişinin yaratıcı özelliklerini ortaya koyduğu bir zaman parçası" olarak tanımlamıştır (Pehlivanoğlu, 1986).

Rekreasyonel aktivitelerle katılabilmek için serbest zaman gereklidir, ancak rekreasyonel isteğe bir neden oluşturamayabilir (Sezgin, 1987). Kişi, serbest zamanını dinlenme, eğlenme, rahatlama ve yenilenme amacıyla kullanabilir. Serbest zamanlarda yapılan aktivitelerin rekreasyon işlevini yapması açısından, kişisel hedef ve isteklerin gerçekleşmesi ve zamanın mutluluk verici bir şekilde değerlendirilmesi önemlidir. Bireyin içinde yer aldığı toplum ve yaşam ortamının sunduğu imkanlaragöre yapılabilen rekreasyonel aktiviteler aracılığıyla, hem ruhsal hem de bedensel gereksinimlerin karşılanabilmesi, rekreasyonda temel hedeftir. Rekreasyonda amaçlanan, bireyin yaşam gücü ve isteğini yenileyebilmesi, yeni değerler kazanmasıdır (Pehlivanoğlu, 1986).



Bireylerin, yaşamlarını devam ettirebilmeleri ve sağlıklı bir biçimde yaşayabilmeleri için çeşitli gereksinimleri vardır. Zorunlu olmamakla birlikte, insanların mutlu olmalarını sağlayan, kendini gerçekleştirme, kabul görme ve arkadaş edinme gibi gereksinimler de söz konusudur (Karaküçük, 1997).

Maslow'un geliştirdiği beş aşamalı gereksinimler hiyerarşisinde; gereksinimler yaşamsal olandan toplumsal olana doğru sıralanmakta ve gereksinimlerin karşılanmasına en alt basamaktan başlanmaktadır (Kılbaş, 2001). Yeme, içme, uyku, barınma gibi temel fizyolojik gereksinimler insanların yaşamlarını devam ettirebilmeleri için zorunludur. Ayrıca can ve mal güvenliği, iş güvenliği, sosyal güvenlik gereksinimleri şiddetle hissedilir. Ait olma, başkalarıyla bir arada olma, kabul ve saygı görme, insanın kendi potansiyelini kullanabilme isteği, amaç ve dileklerini gerçekleştirebilme gibi gereksinimler ise ikincil gereksinimlerdir. Kendini gerçekleştirme gereksinimi ise daha alt düzeydeki gereksinimler gerçekleştirilmeden ortaya çıkmaz. Bu nedenle az gelişmiş ülkeler için lüks sayılan herhangi bir gereksinim, gelişmiş ülke insanları için zorunlu gereksinim grubuna girebilmektedir (Karaküçük, 1997).

Rekreasyon, içerdiği özellikler nedeniyle kaynağını kendini gerçekleştirme gereksiniminden alır. Bugün, rekreasyon gereksinimi kent halkının sağlık ve eğitim gereksinimlerinden ayrı tutulmamaktadır (Sezgin, 1987). Rekreasyon gereksinimi özellikle yoğun nüfuslu alanlarda oluşmaktadır (Baud-Boyv ve Lawson, 1998). Rekreasyonun bir gereksinim olarak benimsenmesinde endüstri devriminden sonraki ekonomik, sosyal ve teknolojik gelişmelerin rolü büyüktür. Endüstrileşme, teknolojik gelişmeler, nüfus artışı ve bunların sonucunda çevrenin tahrip olması ve kirlenmesi, kent insanının rekreasyon ve açık- yeşil alan gereksiniminin artmasına neden olmaktadır. Rekreasyon, endüstrileşme ve kentleşmenin ortaya çıkardığı bir gereksinim olduğu için, endüstrileşmesini tamamlamış ve kentsel nüfusun yoğun olduğu alanlarda, rekreasyon gereksinimi oldukça büyük boyutlara ulaşmıştır. Rekreasyon gereksiniminin oluşmasında ve artmasında iş hayatındaki stres, tatminsizlik, çalışma düzeninin fiziksel, psikolojik, sosyal etkileri ve daha kaliteli bir yaşam isteği gibi faktörler de etkilidir (Sağcan, 1986).

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Diyarbakır kent halkının rekreasyonel eğilim ve taleplerinin belirlenmesi, bu taleplerin karşılanmasına ve kentsel rekreasyon alanlarının kalitesinin artırılmasına yönelik önerilerin sunulması amacıyla yürütülen bu araştırmanın ana materyalini Diyarbakır kent merkezinde ikamet eden halk oluşturmaktadır. Araştırmada, halkın rekreasyonel eğilim ve taleplerinin ortaya çıkarılması amaçlanmaktadır. Diyarbakır'ın kent halkına sunduğu rekreasyon olanaklarının belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada, kent merkezinde yer alan Kent Meydanı Parkı, araştırmanın materyalini oluşturmaktadır.

Araştırma kapsamında; araştırma konusu ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalardan kuramsal temellerin oluşturulması, çalışma yönteminin belirlenmesi ve anket formlarının hazırlanmasında materyal olarak yararlanılmıştır. Kent halkının rekreasyonel etkinliklere katılımı, rekreasyon türü ile alanı tercihi, bu alanlarla ilişkileri, alanlardan memnun olma durumları ve taleplerini ortaya koymaya yönelik 26 sorudan oluşan anket formu, rekreasyonel eğilim ve taleplerin yüz yüze görüşme yöntemiyle elde edilmesini sağlayan araştırma materyalidir (Güneş, 2019). Anket bilgilerinin bilgisayar ortamına aktarılması, analiz edilmesi, grafik ve tabloların çizilmesinde Excel programından materyal olarak yararlanılmıştır.

Araştırma sırasında gerek kuramsal temellerin gerekse araştırma alanı ve konusuna ait bilgilerin oluşturulması aşamasında, üniversite ve kurum kütüphanelerinden elde edilen verilerin yanı sıra internet ortamından elde edilen veriler ile alana ve tezin amacına özgü bazı bilgilerin elde edilmesi amacıyla Diyarbakır Belediyesi ve Diyarbakır Valiliği'nin ilgili birimleriyle, örneklem hacmi ve modelinin oluşturulması amacıyla Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) ile yapılan görüşmeler ve elde edilen veriler araştırmanın materyalleri arasındadır. Alanda yapılan araştırma-inceleme gezileri ile gözlemler ve çekilen fotoğraflar, alan hakkında bilgilerin geliştirilmesine, kent halkının rekreasyon amacıyla kullandığı alanların belirlenmesine ve araştırma kapsamında görsel olarak sunulmasına yardımcı olmak amacıyla kullanılan materyallerdir. Ayrıca kentsel rekreasyon alanlarının, hitap ettiği nüfusla ve birbirleriyle konumlanma ilişkilerinin kurulması ve sunulması aşamasında 1/5000 ölçekli nazım imar planından yararlanılmıştır.

#### 2.1.1. Çalışma alanının tanıtılması ve genel özellikleri

Diyarbakır, Mezopotamya ile Anadolu medeniyetlerinin geçiş bölgesinde yer almaktadır. Yüzölçümü 15.355 km<sup>2</sup> ve rakımı 660 olan Diyarbakır ili, 1993'te büyükşehir unvanı kazanmıştır. Doğuda Muş ve Batman, batıda Adıyaman, Şanlıurfa ve Malatya, güneyde Mardin, kuzeyde ise Elazığ ve Bingöl illeriyle çevrili olan Diyarbakır'da sert bir kara iklimi görülmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Diyarbakir İlinin konumu

Yazları çok sıcak geçen ilde kış soğukları Doğu Anadolu'nda olduğu kadar şiddetli değildir. Son yıllarda yapılan barajların oluşturduğu yapay göller (Atatürk, Karakaya, Silvan, Batman Barajları) geniş buharlaşma yüzeyleri oluşturmaktadır. Bu nedenle de Diyarbakir Havzası'nın kuru havasının nisbi neminde bir artış olmuştur.

Diyarbakir ilinin nüfusu 2018 yılına göre (köy ve ilçeler dahil) 1.732.396'dir. Bu nüfus, 875.468 erkek ve 856.928 kadından oluşmaktadır.

Kentte yeşil alanları artırmak amacıyla çalışmaları devam eden Diyarbakir Büyükşehir Belediyesi tarafından, Kayapınar ilçesi Selahattini Eyyubi Caddesi üzerinde Kent Meydanı Parkı inşa edilmiştir (Şekil 2). Sosyal ve kültürel faaliyetlere ev sahipliği yapmakta olan Kent Meydanı'nın 35.500 metrekaresi yeşil alandan, 31.500 metrekarelik alanı sert zeminden oluşmaktadır. Kent Meydanı içinde; çocuk oyun grupları, fitness aletleri, yürüyüş bantları ve yeşil alanlar yer almaktadır.



Şekil 2. Kent Meydanı Parkı

Kent Meydanı içinde; mescit, kitap cafe, WC, çocukların giyinme-soyunma odası ve otoparkların yanısıra ışıklı su oyunlarının sergileneceği ışıklandırılmalı kuru havuz da yer almaktadır. Kent Meydanı'na 18 farklı türde 722 *Morus spp.* (Dut), 159 *Platanus orientalis* (Doğu Çınarı), 148 *Fraxinus americana* (Amerikan Dişbudacı), 129 *Pinus pumila* (İran Çamı), 114 *Acer saccharum* (Şeker Akçaağaç), 92 *Cupressus sempervirens* (Akdeniz Servi), 58 *Catalpa bignonioides* (Sigara Ağaç), 57 *Quercus rubra* (Amerikan Meşe), 52 *Acer platanoides* (Çınar Yapraklı Akçaağaç), 51 *Cedrus libani* (Lübnan Sediri), 43 *Prunus cerasifera* (Süs Eriği), 36 *Prunus serrulata* (Süs Kirazı), 32 *Syringa spp* (Leylak), 30 *Malus floribunda* (Süs Elması), 10 *Crataegus spp.* (Alıç), 8 *Cotinus coggygria* (Bulut Ağacı), 3 *Populus alba* (Akkavak) ve 2 *Salix babylonica* (Salkım Söğüt) olmak üzere toplam bin 746 adet ağaç dikilmiştir (Güneş, 2019).

Diyarbakir Büyükşehir Belediyesi tarafından Kent Meydanı içinde çocuklar için de alan oluşturulmuştur. Oyun alanlarının zeminleri, çocukların herhangi bir sakatlık yaşamamaları için kumdan ve EPDM kauçuktan yapılmıştır. Alandaki oyun donatıları, ahşap malzemeden seçilmiştir. Ayrıca alanda yetişkinler için spor alanları ve yürüyüş alanları da yer almaktadır.

## 2.2. Metot

Araştırma kapsamında Diyarbakir kent halkının rekreasyonel eğilim ve taleplerini belirlemek amacıyla, tesadüfi olarak seçilen konutlarda, her aileden tek kişi ile görüşülerek anket uygulanması, anket sonuçlarının değerlendirilerek, talepleri karşılamaya ve kentsel rekreasyon alanlarının kalitesinin artırılmasına yönelik önerilerin sunulması yöntem olarak belirlenmiştir.

Gerek Diyarbakır kent halkının rekreasyon amacıyla kullandığı gerekse rekreasyon potansiyeli görülen, kent içi rekreasyon alanları ve sundukları rekreasyon olanakları belirlenmiş, geziler gerçekleştirilerek alanın fotoğrafları çekilmiştir.

Çalışmada ayrıca Diyarbakır kent halkının rekreasyonel eğilim ve taleplerini belirlemeyi amaçlayan anket formları hazırlanmıştır. Ankette, rekreasyon alanlarının kullanıcı-kaynak ilişkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Anket, toplamda 26 soru içermektedir. Ankette, uygulamanın uzun sürmesi ve sorulara verilen cevapların hedeflere ulaşmada yaratacağı sorunlar göz önünde bulundurularak, açık uçlu sorulara son soru dışında yer verilmemiştir. Anket formu dört bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm, kişisel bilgilere ulaşmaya yönelik sorulardır. İkinci bölüm alanlara ulaşım ile ilgili bilgileri içermektedir. Üçüncü bölüm rekreasyonel katılımı belirlemeye yöneliktir. Son bölüm ise rekreasyonel eğilim ve taleplerin belirlenmesine yönelik sorulardan oluşmaktadır (Güneş, 2019).

Araştırmada anket yönteminin esasları ve istatistiksel veri elde etme kriterleri göz önünde bulundurularak, anket sonuçlarının Diyarbakır Kenti'ni temsil edebilmesi amacıyla 200 adet anketin tesadüfi olarak seçilen konutlarda uygulanmasına karar verilmiştir. Anket uygulaması, rekreasyon alanına gidenlerin yanında gidemeyenlerin ve rekreasyon aktivitelerine katılmayanların durumunu da belirlemek amacıyla konutlarda gerçekleştirilmiştir. Böylece yalnızca rekreasyon etkinliklerine katılanların değil, Diyarbakır kent halkının rekreasyonel eğilimi, rekreasyona katılıp katılmadığı, katılmama nedeni gibi rekreasyon etkinliklerine katılmayanların özelliklerinin de belirlenmesi amaçlanmıştır. Anket, nüfuslarıyla orantılı olarak mahallelerde, tesadüfi seçilen konutlarda, aileden tek kişi ile yapılmış, uygulama sırasında katılımcılara adları sorulmamış, yalnızca anketin uygulandığı mahalle not edilmiştir. Verilerin analizi Microsoft Excel programına tek tek işlenerek yapılmıştır.

Araştırmanın son aşamasında elde edilen bulgular değerlendirilerek, Diyarbakır kent halkının rekreasyonel eğilimleri ortaya konulmuş, taleplerinin karşılanmasına ve kentsel rekreasyon alanlarının kalitesinin artırılmasına yönelik öneriler sunulmuş, rekreasyonel planlamada dikkat edilmesi gereken konular vurgulanmıştır (Güneş, 2019).

### 3. Araştırma Sonuçları

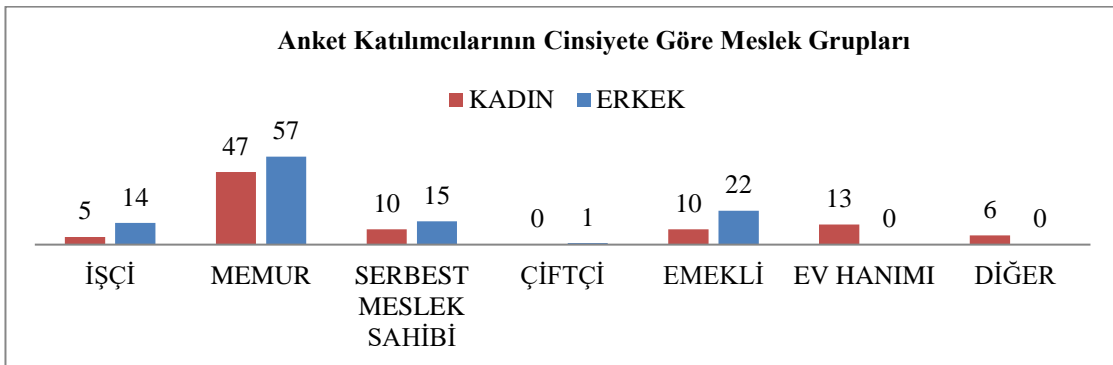
#### 3.1. Kent Meydanı Parkının Anket Verileri

Araştırma alanında, katılımcıların sosyo-ekonomik özellikleri, rekreasyon katılımı ve rekreasyon alanı tercihleri, rekreasyon alanları kullandıklarına ilişkin bilgiler ve alanlardan memnuniyet durumları ile talepleri belirlenmiştir. Bu verilere dayanılarak, kent halkının rekreasyonel eğilimleri ortaya konulmuş, kullanıcıların rekreasyonel tercihleri ile sosyoekonomik özellikleri arasındaki ilişkiler belirlenmeye çalışılmıştır. Anketlerin analizleri sırasında oluşturulan grafikler, her soruya yanıt veren katılımcı sayılarının dağılımı şeklinde gerçekleştirilmiştir.

##### 3.1.1. Kullanıcıların Bireysel Özellikleri

Anket katılımcılarının yaş, cinsiyet, eğitim, meslek, gelir durumu gibi bireysel ve sosyo-ekonomik özellikleri, rekreasyon türü ve alanı seçiminde oldukça etkilidir. Bu özellikler rekreasyon katılımını sınırlandırmakta ya da artırmakta, yönlendirmekte, zevklerin oluşmasını etkilemekte yani doğrudan ya da dolaylı olarak rekreasyonel alışkanlıklara etki etmektedir. Bu nedenle bireysel özelliklerin belirlenmesi önem taşımaktadır.

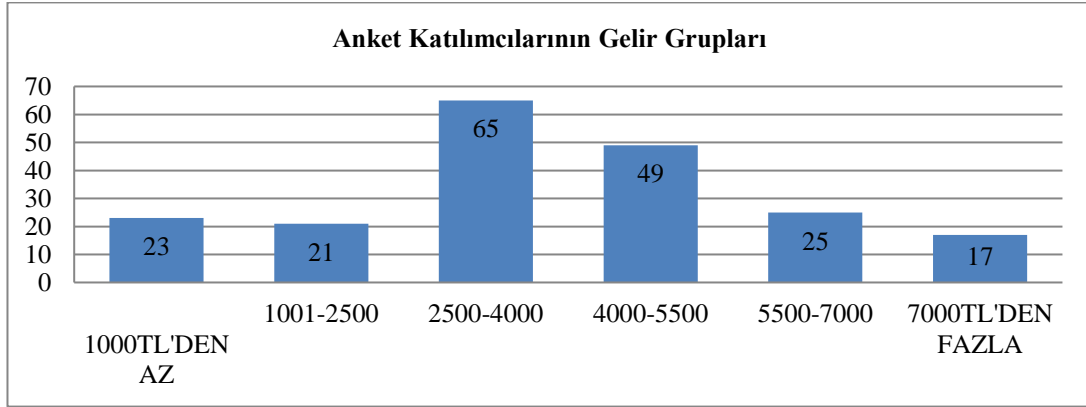
Kent Meydanı Parkında yapılan ankete 91 (%45) kadın, 109 (%55) erkek katılmıştır. Ankete kadınlarda en çok 26-35 yaş grubunda yer alanlar (20 kişi-%34), en az 66 ve üstü yaş grubunda yer alanlar (2 kişi-%2) katılmışlardır. Ankete katılan erkeklerde ise en çok 26-35 yaş grubunda yer alanlar (45 kişi-%42), en az 66 ve üstü yaş grubunda (1 kişi-%1) yer alanlar bulunmaktadır. Ankete katılan kadınların eğitim durumları incelendiğinde; %31 ile lisans mezunlarının çoğunlukta olduğu ve okuryazar olmayanların ise %2 ile en az olduğu tespit edilmiştir. Ankete katılan erkeklerin eğitim durumlarına bakıldığında ise, %36 ile lisans mezunlarının çoğunlukta olduğu görülürken, okuryazar olmayan erkek bulunmamaktadır. Ankete katılanların büyük çoğunluğunun evli olduğu görülmektedir. Katılımcıların %63'ü (127 kişi) evli, %37'si (73 kişi) ise bekar. Meslek grupları incelendiğinde; ankete en fazla katılanları, memurların (%52) oluşturduğu görülmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Cinsiyete göre meslek grupları

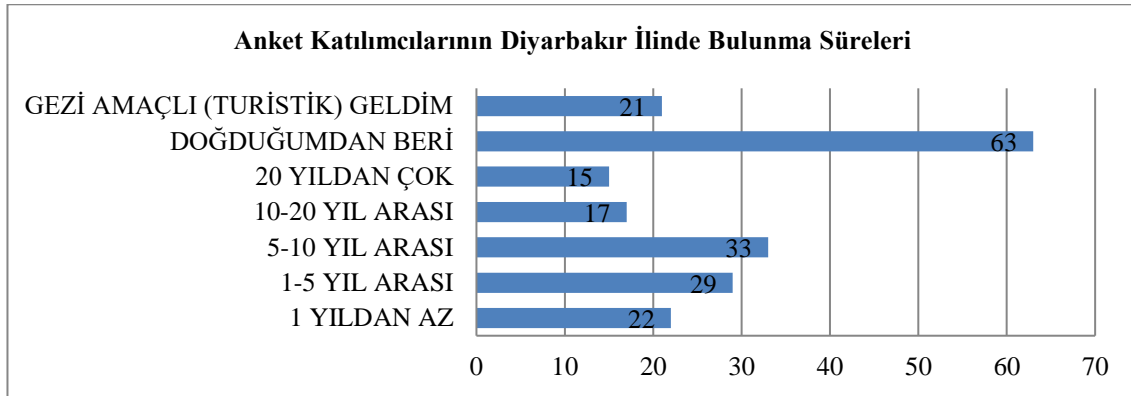
Katılımcılara çocuk sayıları sorulduğunda, %33'ü (67 kişi) 1 çocukla çoğunluğu oluşturmaktadır. Katılımcılardan %1'i 5'den fazla çocuğunun olduğunu ifade etmişlerdir. Ankete katılan Diyarbakır kent halkının büyük çoğunluğunun anne, baba ve çocuklardan ibaret çekirdek aile yapısında olduğu görülmektedir. Ailenin aylık geliri 2500-4000 TL arasında olan katılımcıların %32'si (65 kişi)

çoğunluğu oluştururken, aylık geliri 7000 TL'den fazla olan katılımcıların %9'u (17 kişi) oluşturduğu görülmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Katılımcıların Gelir Grupları

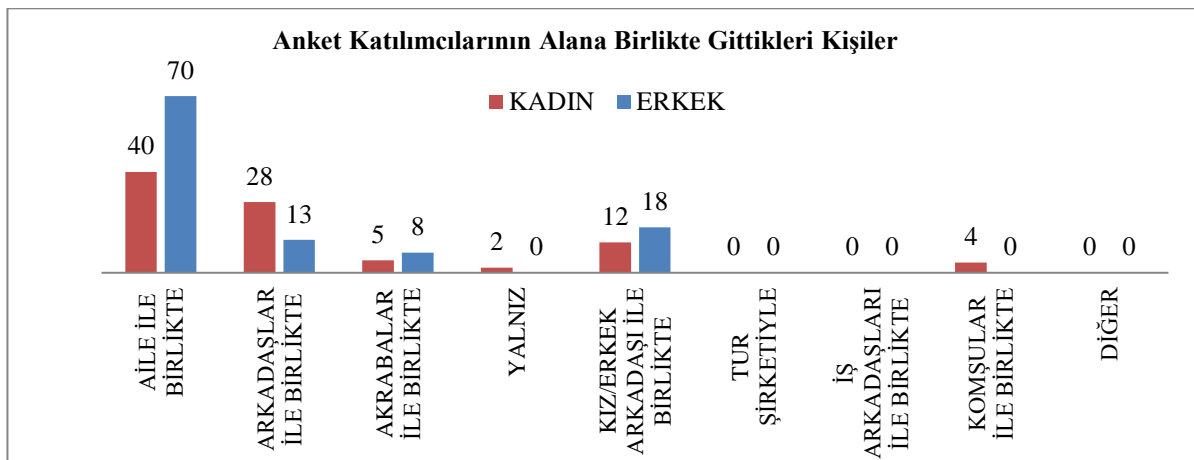
Katılımcıların Diyarbakır'da bulunma süreleri sorulduğunda, doğduğu andan itibaren Diyarbakır'da yaşadığını ifade edenler (%32) 63 kişi ile çoğunluğu oluşturmaktadır. Bireylerden Diyarbakır'da 10-20 yıl arası yaşayanlar 17 kişi (%8), 20 yıldan fazla yaşayanlar 15 kişi (%8)'dir (Şekil 5).



Şekil 5. Katılımcıların Diyarbakır ilinde bulunma süreleri

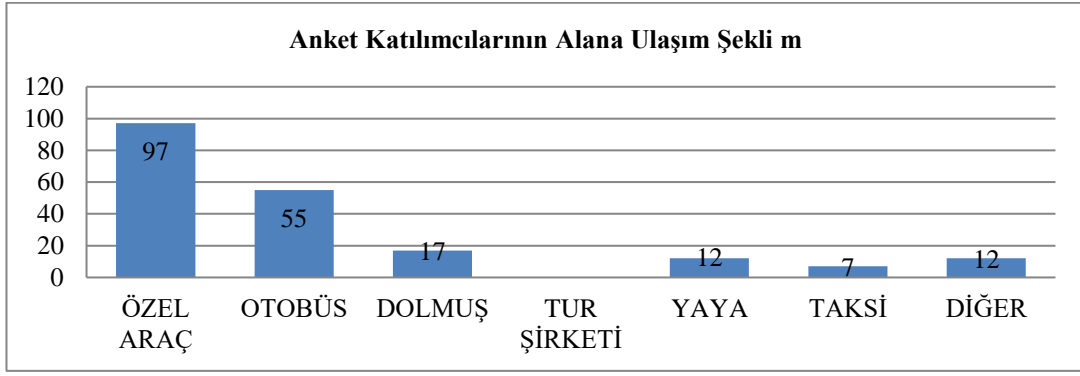
### 3.1.2. Alana Ulaşım İle İlgili Bulgular

Diyarbakır'da ikamet eden bireylerle yapılan ankette, alana kimlerle gidildiği sorulduğunda alınan cevaplar şekil 6'da verilmiştir. Kadınların %44'ü (40 kişi) ailesi ile gittiğini ifade ederken erkeklerin %64'ü (70 kişi) ailesi ile gittiğini ifade etmiştir. Kadınlardan, tur şirketi ile ya da iş arkadaşlarıyla alana giden bulunmamaktadır. Erkekler arasında ise alana tek başına, iş arkadaşları ile birlikte, komşuları ile birlikte ya da tur şirketi ile giden bulunmamaktadır (Şekil 6).



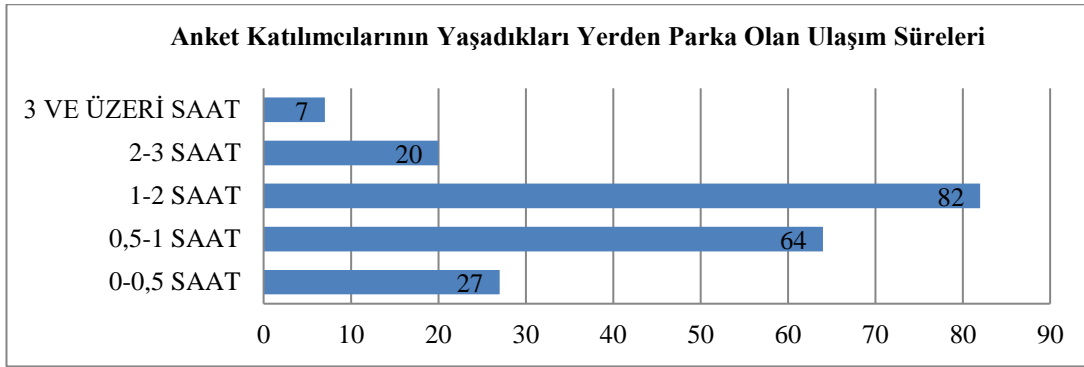
Şekil 6. Katılımcıların alana birlikte gittikleri kişilerin cinsiyete göre dağılımı

Deneklerin Kent Meydanı Parkına nasıl ulaştığı sorulduğunda, çoğunluğun %48 (97 kişi) özel araçla alana gittikleri görülmektedir. 12 kişi (%6) yaya olarak ve 7 kişi (%4) taksi ile alana ulaştıklarını ifade etmişlerdir. Katılımcılardan alana tur şirketi ile giden bulunmamaktadır (Şekil 7).



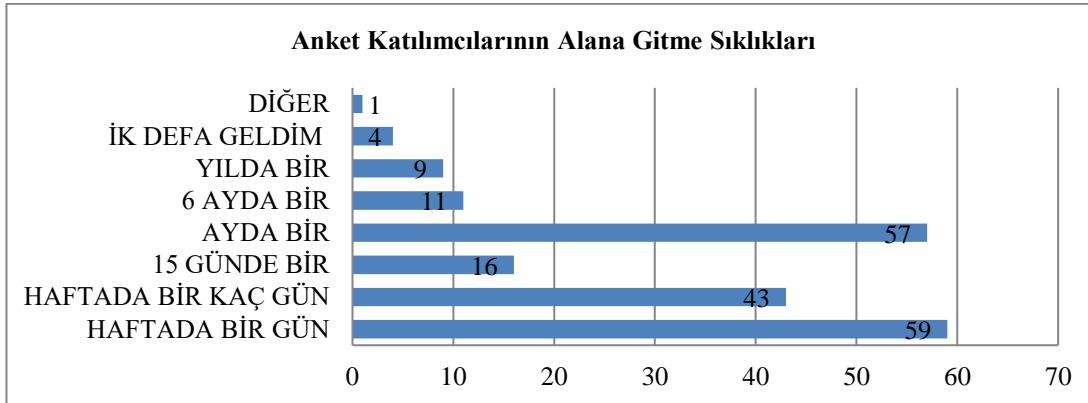
Şekil 7. Katılımcıların alana ulaşım şekilleri

Katılımcılara alana ulaşım süreleri sorulduğunda; %41'i (82 kişi) 1-2 saat içinde alana ulaştığını ifade ederken, %4'ü (7 kişi) 3 ve üzeri saat içerisinde alana ulaştığını belirtmiştir. Verilen cevaplara göre, yakın çevrede oturan kişilerin daha çok tercih ettiği bir park olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. Katılımcıların yaşadıkları yerden parka ulaşım süreleri

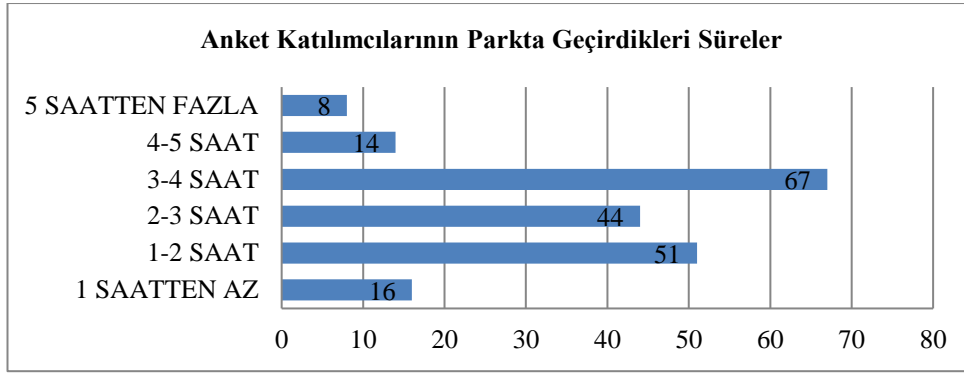
Katılımcıların alana ne sıklıkta gittiklerini belirlemek için sorulan soruda; çoğunluğun (%29-59 kişi) alana haftada bir kez gittiği tespit edilirken, %5'inin (9 kişi) yılda bir ve %2'sinin (4 kişi) sadece bir defa gittiği tespit edilmiştir. Parkta donatı elemanlarının (çocuk oyun alanları, oturma birimleri vb) yer alması sebebiyle, özellikle çocuklu aileler tarafından tercih edilmektedir (Şekil 9).



Şekil 9. Katılımcıların alana gitme sıklıkları

Alanda geçirilen süre sorulduğunda; 67 kişi (%34) 3-4 saat zaman geçirdiklerini ifade etmişlerdir. Ankete katılanların 51'i (%25) 1-2 saat, 14'ü (%7) 4-5 saat, 8'i (%4) 5 saatten fazla zaman geçirdikleri görülmektedir (Şekil 10).





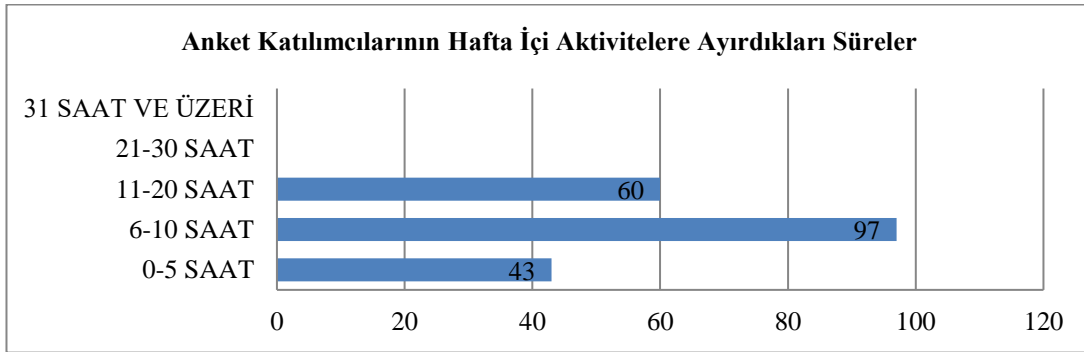
Şekil 10. Katılımcıların parkta geçirdikleri süreler

### 3.1.3. Rekreasyon Etkinliklerine Katılım İle İlgili Bulgular

Diyarbakır'da ikamet eden ve ankete katılan bireylerin çoğunluğu, rekreasyonel etkinliklerde bulunmak için farklı yerlere gittiklerini belirtmişlerdir. Herhangi bir yere gitmediğini belirtenler ise çok azdır.

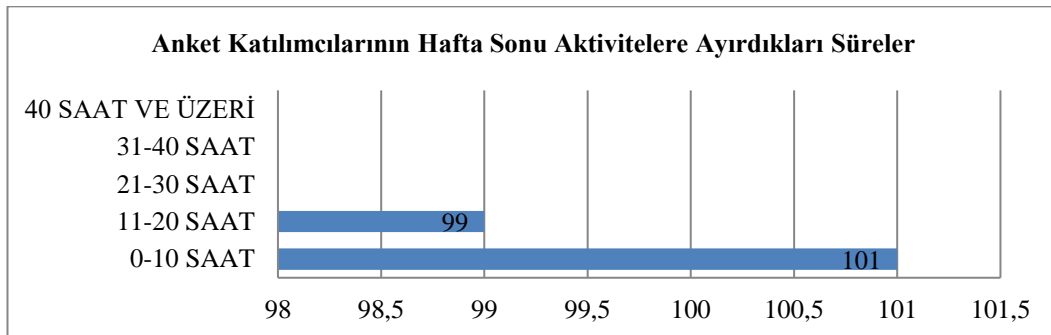
Rekreasyonel etkinliklere katılmadığını ve herhangi bir yere gitmediğini belirten katılımcıların çoğunluğu, katılmamalarında en etkili olan faktörün, serbest zaman yetersizliği olduğunu belirtmektedir. Rekreasyon gereksinimi hissetmediğini söyleyenler arasında bahçeli evlerde oturanların sayısı fazlalık göstermektedir. Bahçe sahibi olmayanların büyük bölümü ise rekreasyona katılmamalarında en etkili faktörün serbest zaman yetersizliği olduğunu belirtmişlerdir. Rekreasyon alışkanlığı olmaması da, bahçe sahibi olmayan bir kısım katılımcı tarafından, rekreasyonel etkinlikte bulunmama en etkili faktör olarak belirtilmiştir.

Deneklerin hafta içi aktivitelerde geçirdikleri zaman incelendiğinde; %49'unun (97 kişi) 6-10 saat arası, %30'unun (60 kişi) 11-20 saat arası, %21'inin (43 kişi) ise 0-5 saat arası zaman geçirdikleri görülmektedir (Şekil 11).



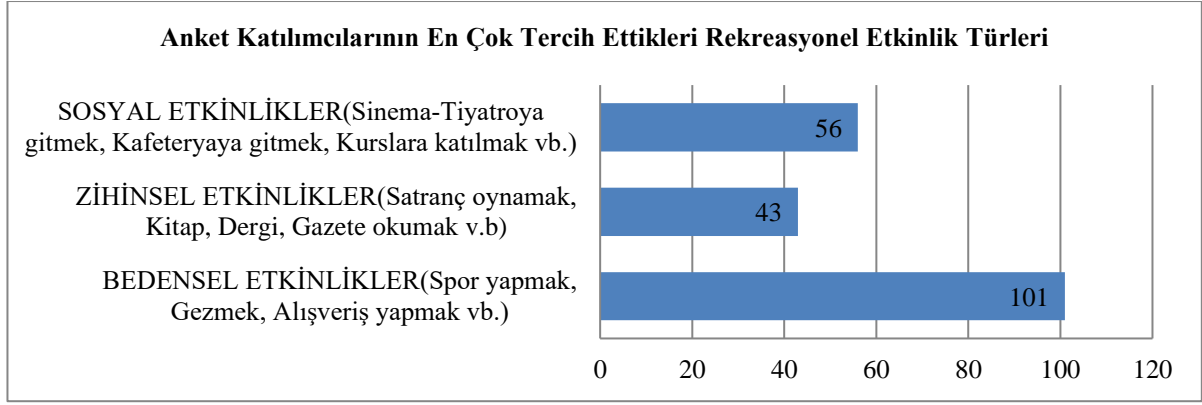
Şekil 11. Katılımcıların hafta içi aktivitelere ayırdığı süre

Deneklerin aktivitelerde hafta sonu geçirdikleri zaman incelendiğinde ise; %50'sinin (101 kişi) 0-10 saat arası, %50'sinin (99 kişi) 11-20 saat arası zaman geçirdikleri ortaya çıkmıştır (Şekil 12).



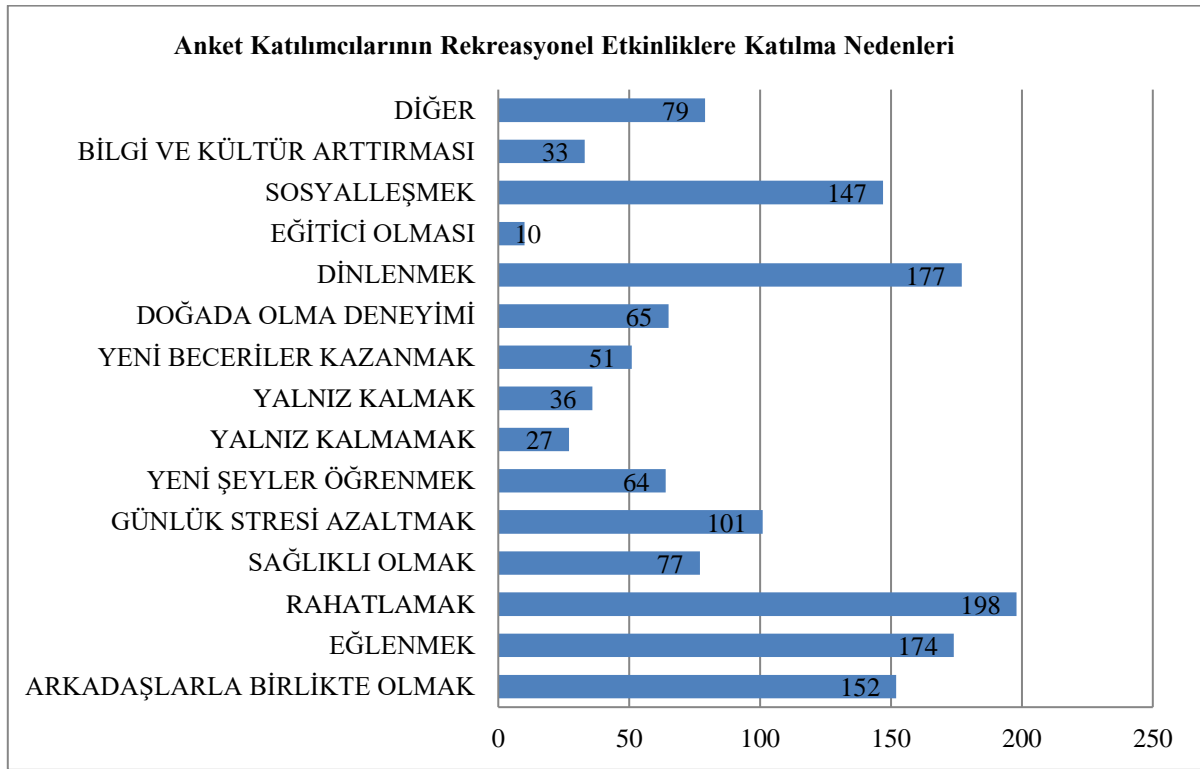
Şekil 12. Katılımcıların hafta sonu aktivitelere ayırdığı süre

Anket sonucunda, katılımcıların bedensel etkinlikleri çoğunlukla tercih ettikleri görülmektedir. Ankete katılan deneklerin %50'si (101 kişi) bedensel etkinlikleri (spor yapmak, gezmek, alışveriş yapmak vb), %28'i (56 kişi) sosyal etkinlikleri (tiyatroya gitmek, kafeteryaya gitmek, kurslara katılmak vb), %22'si (43 kişi) ise zihinsel etkinlikleri (kitap, dergi, gazete okumak ve satranç oynamak vb) tercih ettiklerini belirtmişlerdir (Şekil 13).



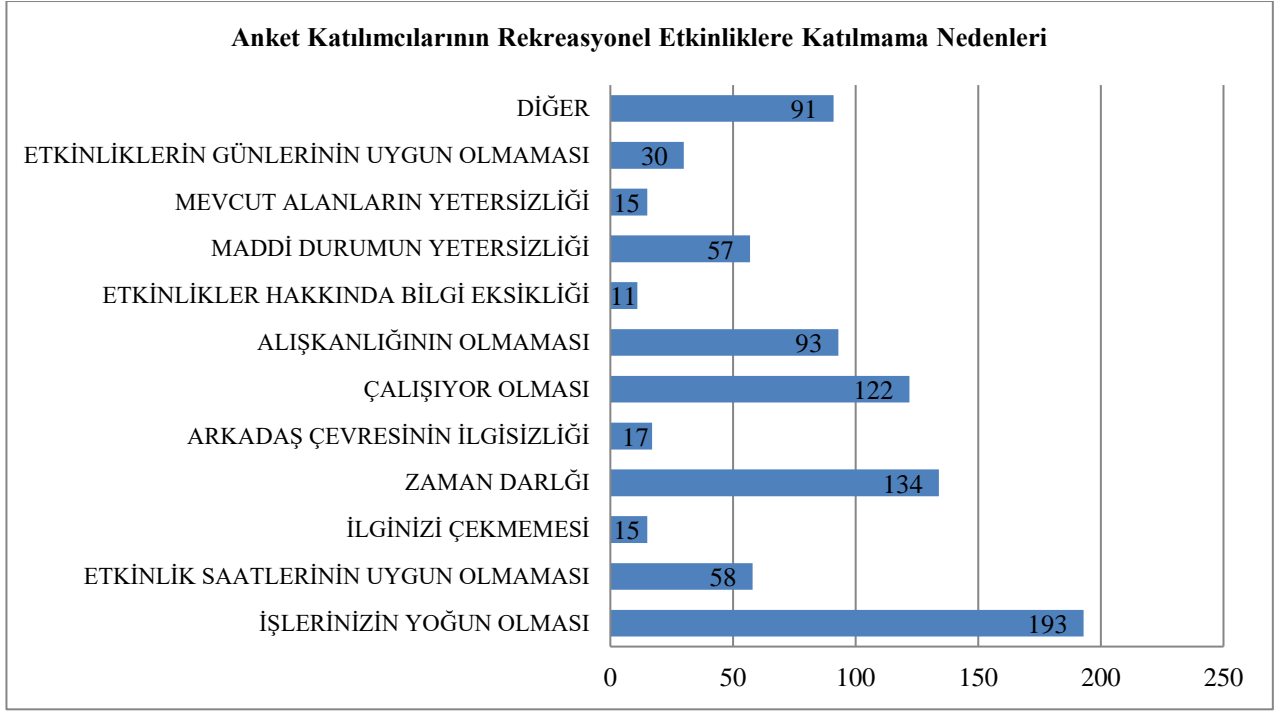
Şekil 13. Katılımcıların katılmayı en çok tercih ettikleri rekreasyonel etkinlik türleri

Rekreasyonel etkinliklere katıldıklarını belirten kadın ve erkeklerin bu etkinliklere katılma nedenleri, çoğunlukla %14 (198 kişi) rahatlamaktır. Birçok kişi günlük iş hayatının stresinden uzak kalmak için bu alanı rahatlamak için tercih ettiğini belirtmiştir. Ayrıca katılımcılar %13 (177 kişi) oranla dinlenmek ve %12 oranla eğlenmek için alana gittiklerini ifade ederken, %3'ü yalnız kalmak, %2'si yalnız kalmamak, %2'si bilgi ve kültürünü arttırmak için alana gittiklerini belirtmişlerdir (Şekil 14).



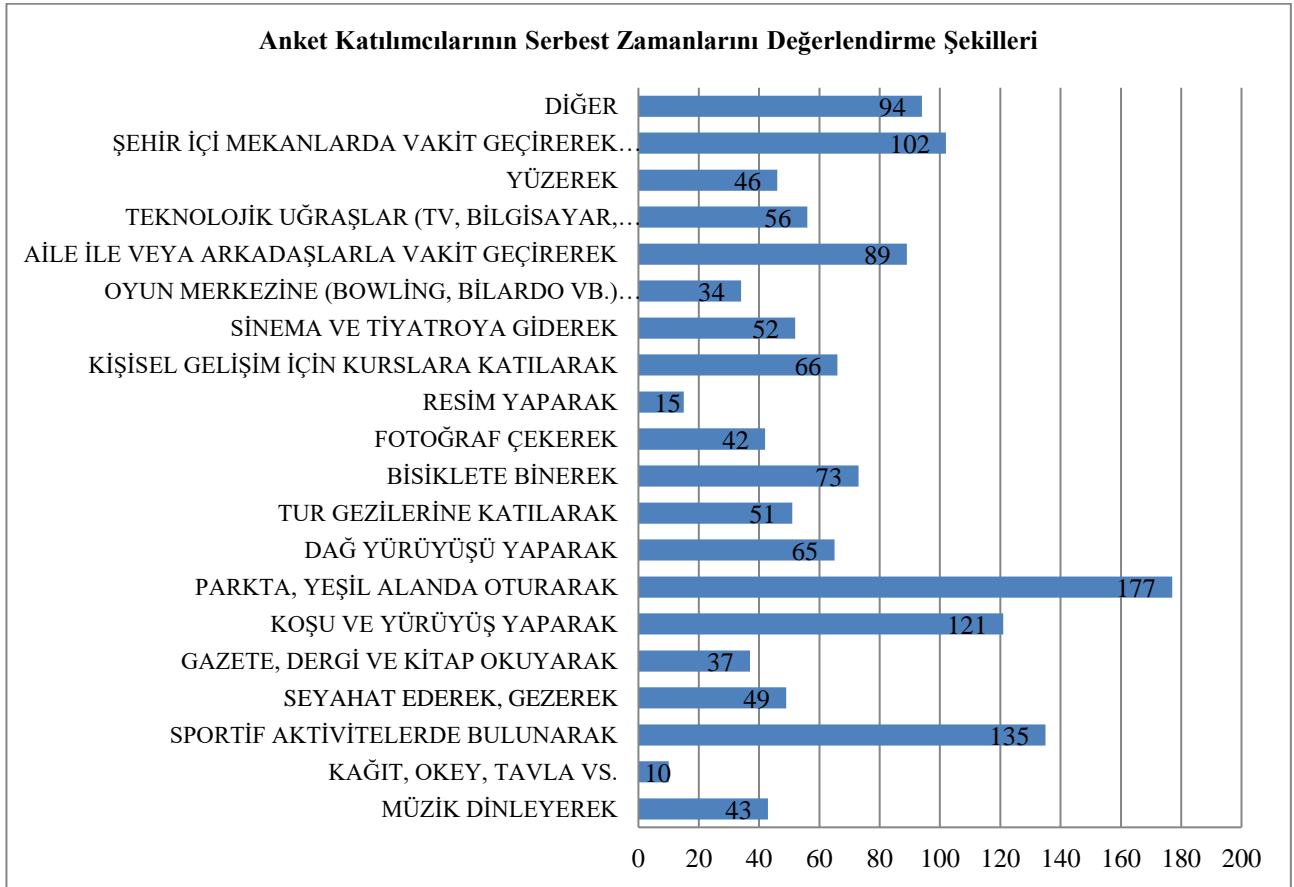
Şekil 14. Katılımcıların rekreasyonel etkinliklere katılma nedenleri

Rekreasyonel etkinliklere katılmadıklarını ifade eden deneklerin bu etkinliklere katılmama nedenleri; işlerinin yoğun olması (%22-193 kişi), zaman yetersizliği (%15-134 kişi), çalışıyor olması (%14-122 kişi) olarak belirtilmiştir. Ayrıca, %2'si (15 kişi) mevcut alanların yetersizliğinden, %2'si (15 kişi) ilgisini çekmemesinden, %1'i (11 kişi) etkinlikler hakkında bilgisinin olmamasından rekreasyonel etkinliklere katılmadığını belirtmiştir (Şekil 15).



Şekil 15. Katılımcıların rekreasyonel etkinliklere katılmama nedenleri

Ankete katılan deneklerden, serbest zamanlarını parkta ve yeşil alanda oturarak geçirdiğini belirtenlerin oranı %13 (177 kişi)'tür. Deneklerin %10'u (135 kişi) sportif aktivitelerde bulunarak, %8'i (102 kişi) şehir içi mekânlarda vakit geçirerek, %9'u (121 kişi) koşu ve yürüyüş yaparak, %7'si (89 kişi) aileleri veya arkadaşları ile vakit geçirerek serbest zamanlarını geçirdiklerini belirtmişlerdir (Şekil 16).

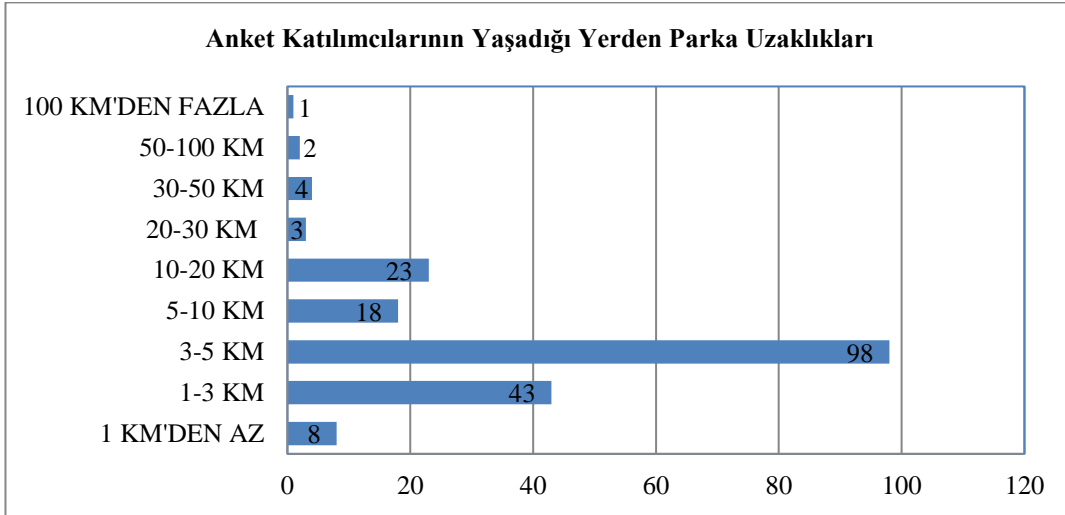


Şekil 16. Katılımcıların serbest zamanlarını nasıl değerlendirdiklerini gösteren dağılım

### 3.1.4. Rekreasyonel Eğilim ve Taleplerine İlişkin Bulgular

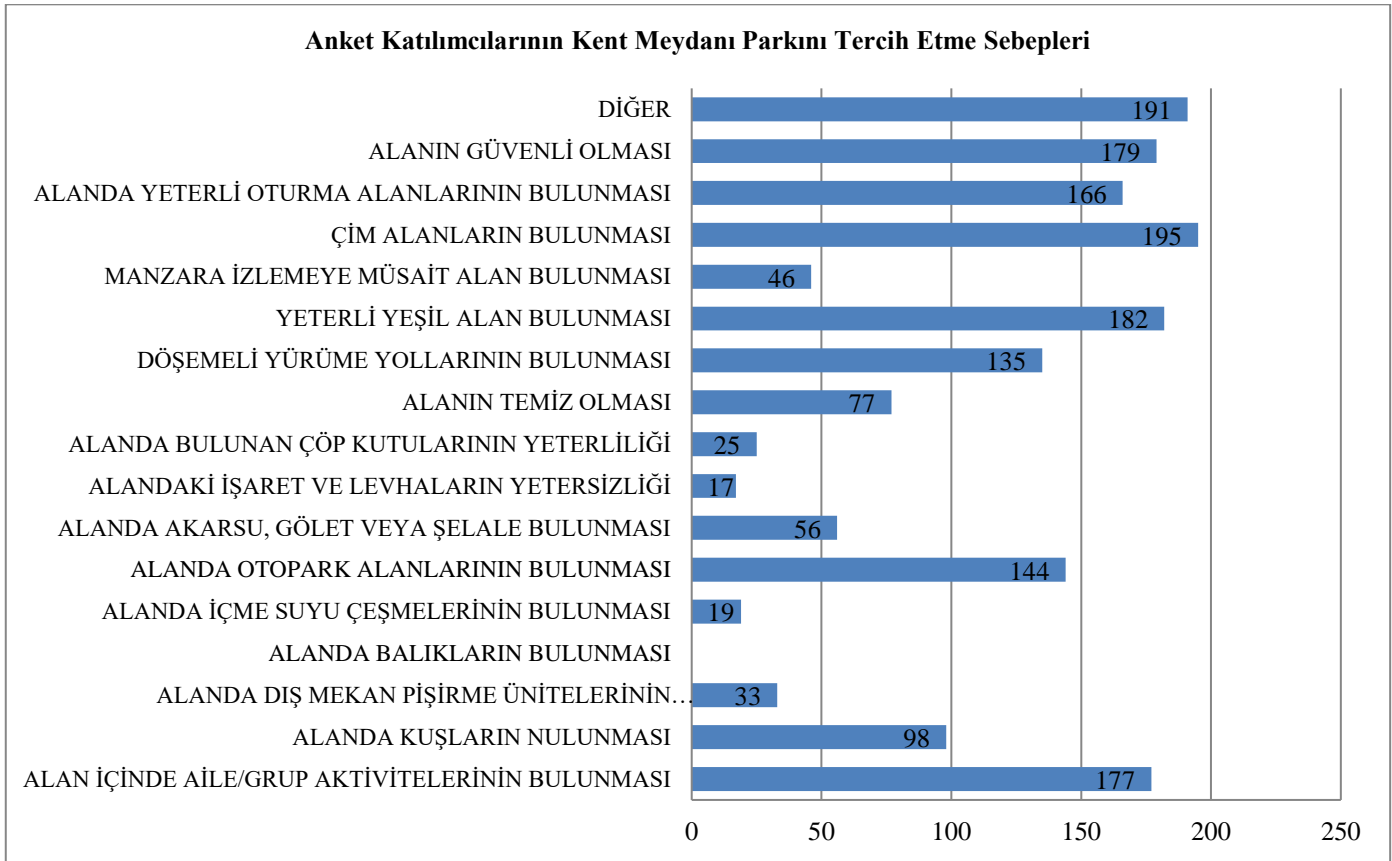
Kent Meydanı Parkı için yapılan ankette, katılımcıların yaşadığı yerden parka uzaklıkları sorulduğunda, %49'u (98 kişi) 3-5 km uzaklıktan alana gittiklerini ifade etmişlerdir. Katılımcıların sadece 2'si 50-100 km ve 1'i 100 km'den fazla mesafeden alana

gittiklerini belirtmişlerdir (Şekil 17).



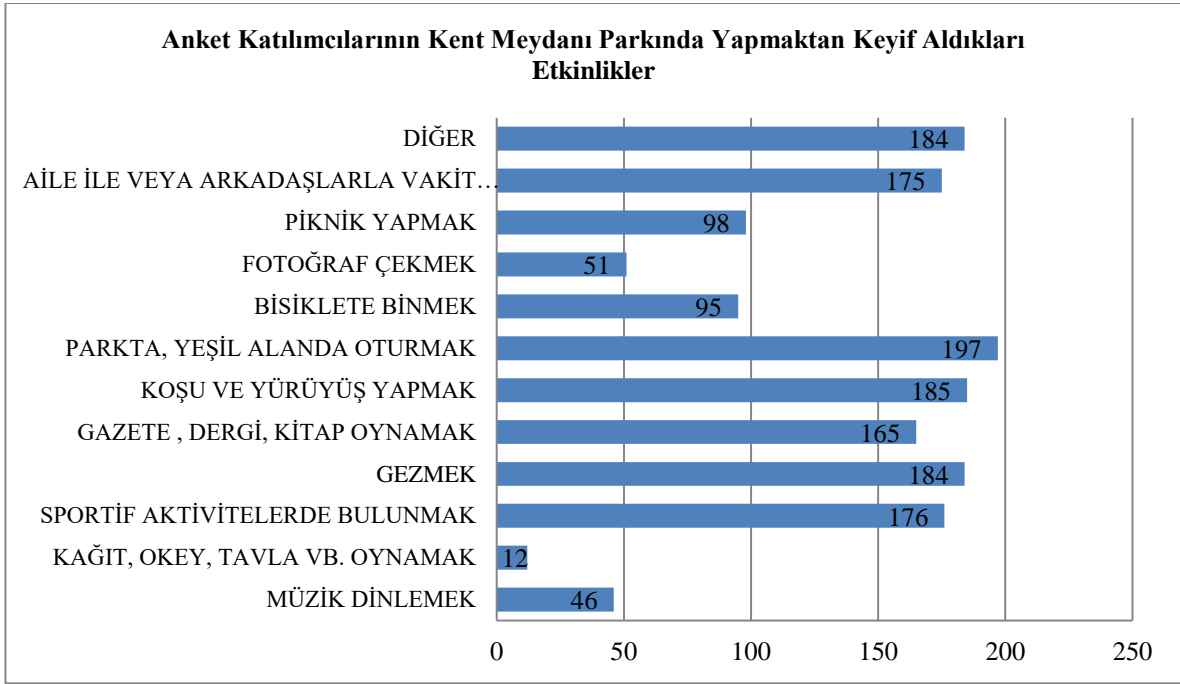
Şekil 17. Katılımcıların yaşadıkları yerden Kent Meydanı Parkına olan uzaklıkları

Katılımcıların parkı en çok tercih etme sebebi (%11-195 kişi), parkta çim alanlara yer verilmiş olmasıdır. Yeterli yeşil alan bulunması (%10), alanın güvenli olması (%10), alanın içinde aile ve grup aktivitelerinin bulunması (%10), bireylerin parkı en fazla tercih etme sebepleridir (Şekil 18).



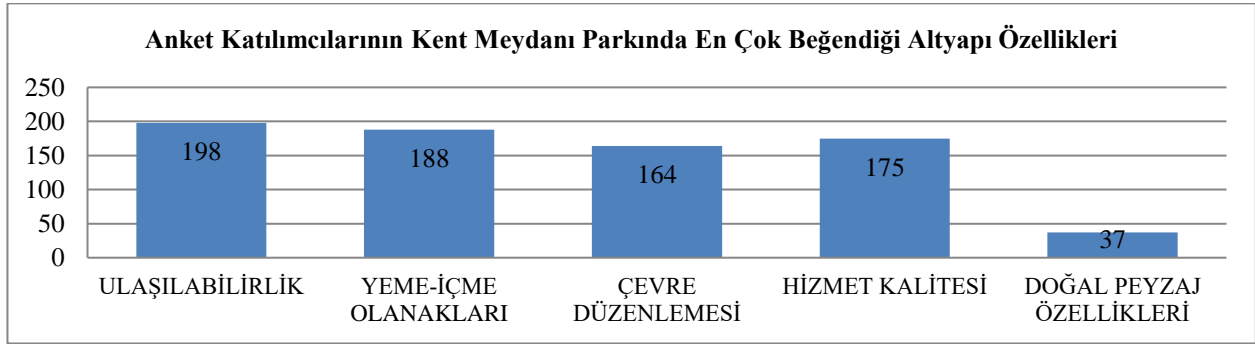
Şekil 18. Katılımcıların Kent Meydanı Parkını tercih etme sebepleri

Ankete katılan deneklerin %13'ü (197 kişi) parkın yeşil alanlarında oturmaktan keyif aldıklarını belirtirken, %12'si (185 kişi) alanda koşu ve yürüyüş yapmayı, %12'si (184 kişi) alanda gezmeyi, %11'i (176 kişi) sportif faaliyetlerde bulunmayı, %11'i (175 kişi) aile ve arkadaşları ile vakit geçirmekten keyif aldıklarını ifade etmişlerdir (Şekil 19).



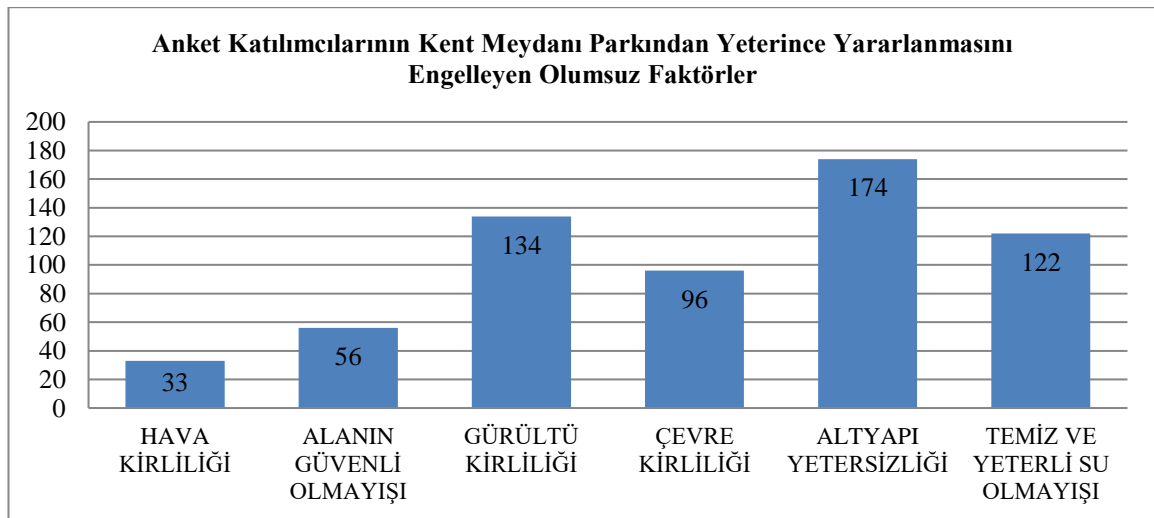
Şekil 19. Katılımcıların Kent Meydanı Parkında yapmaktan keyif aldıkları etkinlikler

Parkin en beğenilen yönü sorulduğunda, katılımcıların %26'sı (198 kişi) ulaşılabilirliği, %25'i (188 kişi) yeme-içme alanı olanaklarını %23'ü (175 kişi) hizmet kalitesini, %21'i (164 kişi) ise çevre düzenlemesini beğendiklerini ifade etmişlerdir (Şekil 20).



Şekil 20. Katılımcıların Kent Meydanı Parkında en fazla beğendikleri altyapı özellikleri

Katılımcıların Kent Meydanı Parkından yeterince yararlanmasını engelleyen olumsuz faktörler sorulduğunda; katılımcıların %28'i (174 kişi) altyapı yetersizliğini, %22'si (134 kişi) parkın gürültüye maruz kaldığını, %20'si (122 kişi) temiz ve yeterli su olmamasını ifade etmişlerdir (Şekil 21).

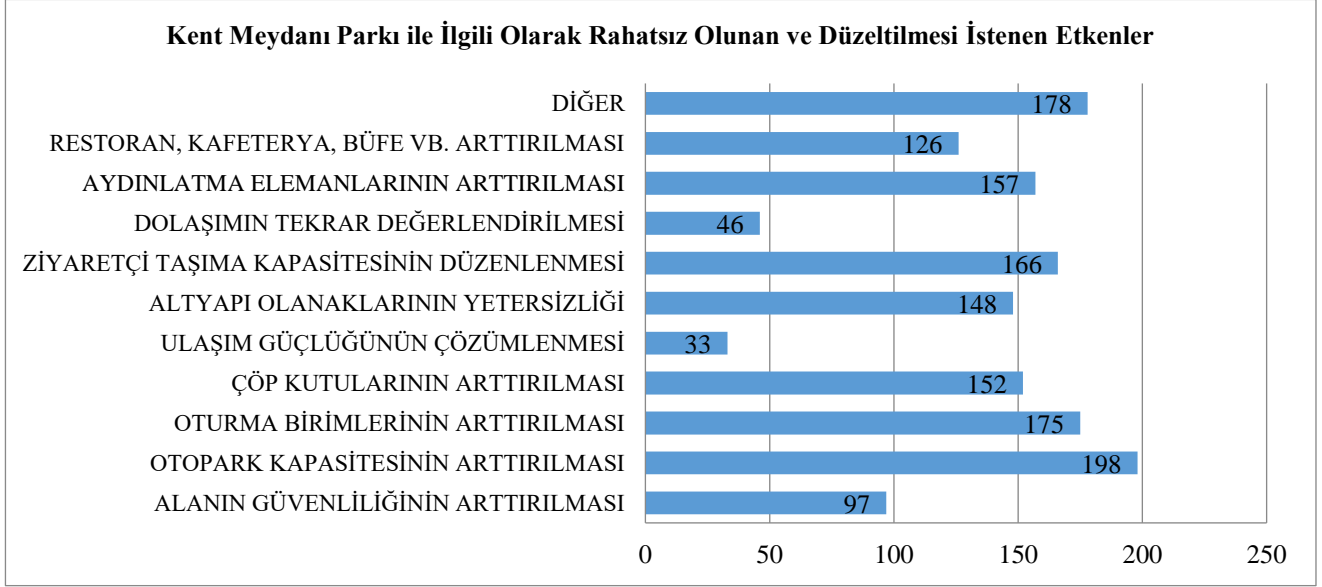


Şekil 21. Katılımcıların Kent Meydanı Parkından yeterince yararlanmasını engelleyen olumsuz faktörler

Parkta rahatsız olunan ve düzeltilmesi istenilen etkenler sorulduğunda, deneklerin çoğunluğu (%13-198 kişi) otopark sıkıntısı çektiklerini ve bu problemin çözülmesini istediklerini vurgulamışlardır. %12'si (175 kişi) oturma birimlerinin artırılmasını, %11'i (157 kişi) aydınlatma elemanlarının artırılmasını, %10'u (152 kişi) çöp kutularının artırılmasını, %9'u (126 kişi) restoran, kafe, büfe



ve vb. alanların arttırılmasını istediklerini ifade ederken, %3'ü (46 kişi) dolaşımının tekrar değerlendirilmesini ve %2'si (33 kişi) ise ulaşım güçlüğü'nün çözümlenmesini istemişlerdir (Şekil 22).



Şekil 22. Kent Meydanı Parkı ile ilgili olarak rahatsız olunan ve düzeltilmesi istenilen etkenler

Bunların dışında bazı katılımcılar ise farklı isteklerde bulunmuşlardır. Çocuk oyun alanı için farklı elemanların gelmesi ve alanın küçük çocuklara da hitap etmesini istemişlerdir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Günümüzde rekreasyon, yapıcı fonksiyonları ve kent yaşamının olumsuz özelliklerinin de etkisiyle insanlar için bir gereksinim olarak kabul görmektedir. Bu gereksinimin en iyi biçimde karşılanabilmesi, kullanıcı taleplerinin planlama anlayışına katıldığı, gerek kentsel gerekse kırsal alanda, alanın özelliklerine göre bu taleplerin karşılık bulduğu rekreasyon alanlarının yaratılmasıyla mümkün olacak, kent halkının rekreasyonel eğilim ve talepleri dikkate alınarak yapılacak planlama çalışmaları, kentin rekreasyon gereksinimlerini en iyi karşılayacak çözümleri üretecektir.

İnsanların rekreasyonel tercihleri bir takım faktörlerin etkisi altında kalmakta, bu faktörlerin etkisiyle bazı rekreasyonel davranışlar oluşmaktadır. Rekreasyonel tercihler; gelir, eğitim, yaş gibi bireysel özellikler etkisiyle şekillenebileceği gibi rekreasyon alanının olumlu ya da olumsuz bazı özelliklerinden de etkilenmektedir. Bu tür faktörlerin etkisiyle rekreasyonel davranışların nasıl yönlendiğinin ortaya konulması, tüm sosyo-ekonomik yapıdaki kent halkının rekreasyon gereksiniminin karşılanması açısından önemlidir.

Rekreasyonel planlamada kent halkının ilgi, talep ve eğilimlerinin dikkate alınması önemli bir ögedir. Ancak güncel eğilim ve talepler dikkate alınarak yapılacak bir planlamada, sonraki dönemlerde eksiklikler görülmesi olasıdır. Rekreasyonel tercihler zaman içerisinde değişiklik gösterebilir. Değişen sosyo-ekonomik yapı, toplum yapısı, kaynakların göstermiş olduğu değişimler ile kişilerin zevk ve algılarında meydana gelen farklılıklarla rekreasyonel tercihler de değişmektedir. Bu nedenle bir kente rekreasyon alanları planlanırken, güncel ve gelecekteki talepler belirlenmeli aynı zamanda geleceğe yönelik planlamalar da yapılmalıdır. Bu nedenle toplumun gelişme karakteristikleri dikkate alınmalı, potansiyel rekreasyon talepleri belirlenmeye çalışılmalıdır. Ayrıca bir kente olması halk tarafından istenen rekreasyonel aktivite ve kullanımların yanında farklı olanakların da sunulması gerekmektedir.

Diyarbakır Kenti'nin rekreasyon olanakları irdelendiğinde, kent çevresinin hem doğal hem de tarihsel değerler açısından zengin rekreasyon kaynaklarına sahip olduğu görülmesine karşın kentsel rekreasyon alanlarının aynı düzeyde olmadığı, kent parkı niteliğini taşımaktan uzak birkaç park ve piknik alanından ibaret olduğu görülmektedir. Diyarbakır kent halkı, mevcut bu alanları kullanma eğilimi göstermekle birlikte, yeni alanların oluşturulmasına yönelik taleplerini de ortaya koymaktadırlar.

Çalışma kapsamındaki anket bulguları incelendiğinde; kent halkının mevcut olanakları değerlendirme eğiliminde olduğu ve katılımcıların büyük oranda rekreasyon amacıyla bir alana gittikleri görülmektedir. Rekreasyonel etkinliklere katılmayanlar ise çoğunlukla bu etkinliklere katılma isteğini ortaya koymakta fakat serbest zaman yetersizliği, ekonomik güçsüzlük gibi nedenlerle rekreasyonel etkinliklere katılmadıklarını belirtmektedirler.

Diyarbakır kent halkının en çok katıldığı rekreasyonel etkinlikler; piknik yapmak, aile ile veya arkadaşları ile vakit geçirmek, yeşil alanda oturmak, yürüyüş yapmak, spor yapmak ve şenliklere katılmak gibi etkinliklerdir. Cinsiyet, eğitim, gelir ve yaş gruplarına göre tercih edilen rekreasyon türleri bazı farklılıklar gösterebilmektedir. Kent halkının piknik yapmak, yeşil alanda oturmak, yürümek ve spor yapmak gibi aktivitelere fazla katılım göstermesinin, Diyarbakır'ın sahip olduğu doğal değerlerin bir göstergesi ve sonucu olduğu söylenebilir. Çeşitli hobiler gibi kişinin kendi istek, algı ve zevklerine göre şekillenen etkinliklerin yanında, park gezintileri yapma, çeşitli sporlar, kültürel etkinliklere katılma gibi kentteki olanakların biçimlendirdiği rekreasyonel aktiviteler de mevcuttur ve Diyarbakır kent halkı bu etkinliklere katılma eğilimi göstermektedir. Bu eğilimin yönlendirilmesi ve çeşitli olanaklar eşliğinde geliştirilmesi konusunda ise yerel yönetimlere görevler düşmektedir.

Diyarbakır halkının kent içi ve çevresindeki rekreasyon alanlarını kullanma alışkanlıkları irdelendiğinde; yaz aylarında, yoğun olarak hem kent çevresindeki hem de kent içindeki rekreasyon alanlarının kullanıldığı görülmektedir. Ancak kent içindeki rekreasyon alanları, ilkbahar ve sonbahar aylarında kent çevresinden daha çok ziyaretçi almakta, insanlar kent çevresindeki alanlara serbest zamanın daha fazla olduğu hafta sonlarında ve yoğunlukla özel araçla gitmeyi tercih etmekte ve daha uzun süre kalmaktadırlar. Kent içerisindeki alanlara ise yoğunlukla serbest zaman buldukları herhangi bir anda gitmekte ve daha kısa süreli kalmaktadırlar. Halk, kent içindeki alanlara yoğunlukla aile bireyleriyle gitme eğilimindedirler. Evli bireylerin daha çok eş ve çocuklarıyla, bekarların büyük kısmı ise arkadaşlarıyla gitmeyi tercih etmektedir. Kent çevresindeki rekreasyon alanlarına ise aile bireyleriyle gidenler yoğunluktadır.

Kent halkının büyük çoğunluğu, kentin küçük olması nedeniyle kentsel rekreasyon alanlarına toplu taşıma araçları, taksi veya yürüyerek gitmeyi tercih etmektedir. Kent halkı yoğunlukla ulaşımın kolay olması, alternatif park seçeneği olmaması, oturmak-dinlenmek, açık havada zaman geçirmek, çocuk gezdirmek gibi amaçlarla Kent Meydanı Parkını tercih etmektedirler.

Kent halkının kentsel rekreasyon alanlarından memnuniyet durumları ve talepleri incelendiğinde; yoğunluğun rekreasyon alanlarının kalite, kapasite ve sayısını yetersiz gördüğü tespit edilmiştir. Kentin potansiyeline rağmen bu olanakların değerlendirilmediği, rekreasyon olanakları açısından kentin çok zayıf bir yapı sergilediği de ortaya konulmuştur. Ayrıca halkın farklı olanakların kentte yer alması yönünde talepte bulunduğu görülmektedir. Bunların dışında, mevcut rekreasyon alanlarından; serbest zaman yetersizliği, rekreasyon alanlarının beklentileri karşılamaması, güvenlik sorunu, ulaşım güçlüğü gibi nedenlerle yeterince yararlanamadıklarını belirtenler de yoğunluktadır. Kent halkı kent bütününde ve kentsel rekreasyon alanlarında sunulan aktiviteleri, rekreasyon alanı ve tesis sayısını, oyun ve spor alanlarını yetersiz görmekte ve bu olanakların sağlanması ya da artırılması yönünde talep ortaya koymaktadırlar. Ayrıca rekreasyon alanlarının lokanta, kafeterya, kır kahvesi, çocuk oyun alanları, futbol sahası, bitki ve hayvanların tanıtıldığı bahçeler vb kullanımları içermesini istemektedirler. Koşu/yürüyüş yolu, açık-kapalı kültür tesisleri, yüzme havuzu gibi kullanımlara kadınlar; eğlence yerleri, futbol sahası gibi kullanımlara ise erkekler daha fazla talepte bulunmaktadır. Kadınlar; kapalı mekanların olması, doğal ve yeterli yeşil alanın bulunması yönünde erkeklerden daha fazla, erkekler ise yeme, içme ve konaklama tesislerinin olması yönünde kadınlardan daha fazla talepte bulunmaktadır.

Kent halkının büyük bölümü, kalite ve güvenliği artıracak taleplettikleri rekreasyonel olanaklar için belli bir ücret ödeme eğilimindedir. Ekonomik güçsüzlük nedeniyle aktivitelerin ücretsiz olmasını isteyenlerin yanında, rekreasyon olanakları sunmanın yerel yönetimin bir görevi olduğunu ve bazı olanakların ücretsiz olması gerektiğini savunanlar da bulunmaktadır.

Araştırma alanı verileri ve anket bulguları değerlendirilerek ortaya konulan Diyarbakır kent halkının rekreasyonel eğilim ve taleplerinin karşılanmasına, kentsel rekreasyon alanlarının kalitelerinin artırılmasına yönelik öneriler ve talepleri karşılama amacını gerçekleştirebilecek bir planlamada dikkat edilmesi gerekli bazı noktalar ise aşağıda vurgulanmıştır:

Kentsel yeşil alanlar, rekreasyon etkinliklerinin bu fonksiyonlarını yerine getirebilecek biçimde ifade bulduğu en önemli alanlardır. Kısa mesafe ve zamanda kent halkına rekreasyon imkanı sunmakta, ekolojik, estetik ve fiziksel bir çok fonksiyon üstlenmektedir. Bu alanların büyüklük ve dağılımı açısından tüm fonksiyonlarını yerine getirebilecek nitelikte yer almaları, bir kent için büyük kazanımlardır.

Gelişimin plansız bir biçimde gerçekleştiği büyük kentlerde, bir sistem içerisinde ele alınmayan açık ve yeşil alanların, yapı adaları arasında, küçük alanlar olarak kaldığı bir süreç yaşanmaktadır. Günümüzde kentleşme sorununun yaşandığı Diyarbakır Kenti'nde de, ormanlıklar alanlar içinde yapı kitlelerinin bloklar halinde çoğaldığı görülmektedir. Bu durum, rekreasyon kaynağı olan kentsel yeşil alanları kentten uzaklaştırmakta ayrıca kent halkının doğal rekreasyon kaynaklarıyla ilişkisini de koparmaktadır. Oysa Diyarbakır, rekreasyon gereksiniminin kent merkezinde giderilmesine olanak sağlayacak doğal değerlere sahip bir kenttir. Fonksiyonel bir rekreasyon ve yeşil alan sisteminin oluşturulabilmesi için, taleplerin de dikkate alındığı, açık ve yeşil alanların diğer kentsel alan kullanımlarıyla beraber düşünüldüğü ve kent bütününe kapsadığı bir planlama yaklaşımına gereksinim söz konusudur. Bu planlama yaklaşımının oluşturulmasında, yerel yönetimlere büyük sorumluluklar düşmektedir. Plancıların, kentin doğal olarak sahip olduğu değerlerin farkında olması ve bunları koruyarak kentlilere sunma konusunda hassas davranması gerekmektedir.

## **Kaynakça**

- Akten, M. 2003. Isparta İlindeki bazı rekreasyon alanlarının mevcut potansiyellerinin belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, seri:A, sayı: 2, 115-132. <http://ormanweb.sdu.edu.tr/dergi>. Erişim tarihi:12.02.2007.
- Bakır, M. 1990. Rekreasyon ve turizm ilişkisinin turizm politikalarının oluşturulmasındaki önemi. Doktora tezi. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Turizm Programı, 178 s., İstanbul.
- Baud-Bovy, M. and Lawson, F. 1998. Tourism and recreation handbook of planning and desing. Architectural press, 281p., Oxford.
- Butler, R., Hall, C. M. and Jenkins, J., 1998. Tourism and recreation in rural areas. John Wiley and Sons, 261 p., New York.
- Güleç, S., 1990. Orman İçi Rekreasyon Alanlarında Rekreasyon Potansiyelinin Saptanması için Geliştirilen bir değerlendirme yöntemi. İÜ Orman Fakültesi Dergisi, Seri A, Cilt 40, Sayı 2, İstanbul.
- Güneş, P. 2019. Diyarbakır halkının rekreasyonel eğilim ve taleplerinin kent meydanı parkı ve nevroz parkı örneğinde değerlendirilmesi üzerine bir araştırma, Yüksek Lisans tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, 116 s., Isparta.
- Karaküçük, S. 1997. Rekreasyon, kavram-kapsam ve bir araştırma. Seren Ofset, 373s., Ankara.
- Kelly, J. R. 1990. Leisure. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 540 p., New Jersey.
- Kılbaş, Ş. 2001. Rekreasyon. Boş zamanı değerlendirme. Anaca Yayınları, 207 s., Adana.
- Müderrişoğlu, H. 2002. Açık hava rekreasyonunda taşıma kapasiteleri-rekreasyonel kullanım ilişkilerinin incelenmesi. Doktora tezi. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, 129 s., İstanbul.

- Nalbantoğlu, O. 1997. Rekreasyon ekonomisi bağlamında kentsel rekreasyon alanlarının taşınmaz değerlerine olan etkilerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. Doktora tezi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, 149 s., Ankara.
- Özgüç, N. 2003. Turizm coğrafyası. Çantay Kitabevi, 591 s., İstanbul.
- Pehlivanoğlu, M.T. 1986. Belgrad ormanının rekreasyon potansiyeli ve planlama ilkelerinin saptanması. Doktora tezi. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 284 s., İstanbul.
- Sağcan, M. 1986. Rekreasyon ve turizm. Cumhuriyet Basımevi, 380 s., İzmir.
- Sezgin, S. 1987. Türk toplumunun rekreasyon alışkanlıkları: İstanbul örneği. Doktora tezi, Mimar Sinan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı, 167 s., İstanbul.



## **Köyceğiz, Bafa ve Limni Göllerinin (Muğla-Türkiye) Bazı Fiziko-kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi**

Nedim Özdemir<sup>1\*</sup>, Ahmet Demirak<sup>2</sup>, Elmina Gadirova<sup>3</sup>, Cengiz Koç<sup>4</sup>, İ.Akın Temizer<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü, Muğla, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7410-6113)

<sup>2</sup>Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Muğla, Türkiye (ORCID:0000-0002-6815-8037)

<sup>3</sup>Bakü Devlet Üniversitesi, Ekolojik Kimya Bölümü, Bakü, Azerbaycan (ORCID:0000-0002-1302-8227)

<sup>4</sup>Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Muğla, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7310-073X)

<sup>5</sup>Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Elazığ, Türkiye (ORCID:0000-0002-2115-2367)

(İlk Geliş Tarihi 5 Temmuz 2019 ve Kabul Tarihi 22 Ekim 2019)

(DOI:10.31590/ejosat.587665)

**ATIF/REFERENCE:** Özdemir, N., Demirak, A., Gadirova, E., Koç, C. & Temizer, İ. A. (2019). Köyceğiz, Bafa ve Limni Göllerinin (Muğla-Türkiye) Bazı Fiziko-kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 338-345.

### **Öz**

Göller en önemli sulak alan ekosistemleri arasındadır. Ekolojik olarak önemli olan göller, özel ekosistemlerdir ve bölgenin su rejimini düzenlemek, karakteristik bitki ve hayvan gruplarının ekonomik, kültürel, bilimsel ve rekreasyonel bir şekilde yaşamalarını ve büyük bir kaynak oluşturmalarını sağlamak gibi birçok önemli role sahiptir. Bunun yanında, çeşitli insan faaliyetleri (balıkçılık, rekreasyon ve turizm, enerji üretimi, atık su emisyonu vd.)ve doğa için bir sığınak olarak kabul edilen göller, güncel yönetmeliklere göre yönetilmeli ve sömürülmemelidir.

36°17'-37°33' Kuzey enlemleri ve 27°13'-29°46' Doğu boylamları arasında yer alan Muğla, 13328 km<sup>2</sup> yüzey alanına ve çok engebeli bir arazi yapısına sahiptir. Muğla İli, Büyük Menderes, Dalaman ve Eşençayı havzalarında yer alıp, Güneyde Akdeniz, Batıda Ege Denizi ile çevrilidir. Muğla ili, Eşençayı, Dalaman Çayı, Bafa Gölü, Güllük Lagünü ve Köyceğiz Gölü gibi ana su kaynakları ile diğer tatlı su kaynakları bakımından zengindir.

Bu çalışma aylık olarak Haziran 2011 ile Mayıs 2012 tarihleri arasında Köyceğiz, Bafa ve Limni Gölü'nde yapılmıştır. Seçilen bu istasyonlardaki göller su kalitesi yönünden araştırılmıştır. Bu göllerden seçilen toplam 15 istasyon noktasından su örnekleri alınmıştır. Su sıcaklığı, pH, elektriksel iletkenlik ve çözülmüş oksijen, YSI 556 MPS çoklu prob cihazı kullanılarak sahada ölçülmüştür. Sahadan alınan örnekler Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Temel Bilimler Laboratuvarı'na getirilerek, orto-fosfat, nitrit azotu, nitrat azotu ve amonyum azotu bakımından ölçülmüştür. Bu istasyonlardan alınan su örnekleri fiziko-kimyasal parametreler yönünden incelenmiştir. Çalışmanın sonuçları şu şekilde belirlenmiştir: Su sıcaklığının 11,43 ile 28,62°C, pH'ın 6,03 ile 8,90, elektriksel iletkenliğin 403,6 ile 2124 µScm<sup>-1</sup>, çözülmüş oksijen değerinin 1,73 ile 11,42 mgL<sup>-1</sup>, nitrit azotunun BDL ile 0,12 mgL<sup>-1</sup>, nitrat azotunun BDL ile 25,85 mgL<sup>-1</sup>, amonyum azotunun BDL ile 1,64 mgL<sup>-1</sup> ve orto-fosfat değerlerinin BDL ile 1,24 mgL<sup>-1</sup> arasında değişim gösterdiği saptanmıştır. Fiziko-kimyasal parametreler Su Kirliliği Kontrolü Mevzuatı'na uygun olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın bir sonucu olarak, bu göllerdeki kirliliğin çoğunlukla antropojenik faktörler, tarımsal kirleticiler, turizm faaliyetleri, evsel atıklar ve atık su kombinasyonundan etkilendiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Antropojenik faktörler, Köyceğiz Gölü, Bafa Gölü, Limni Gölü, Fiziko-kimyasal parametreler, Turizm faaliyetleri, Su kalitesi, Su kirliliği

## **Investigation of Some Physico-chemical Properties of Köyceğiz, Bafa and Limni Lakes (Muğla-Turkey)**

### **Abstract**

Lakes are among the most important wetland ecosystems. Lakes which are important ecologically are special ecosystems and have many significant roles such as arranging water regime of the region, enabling characteristic plant and animal groups to live and

\*Sorumlu Yazar: Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü, Muğla, Türkiye (ORCID:), [onedim@mu.edu.tr](mailto:onedim@mu.edu.tr), [ata.dadaoz@gmail.com](mailto:ata.dadaoz@gmail.com)

forming a great source economically, culturally, scientifically and recreationally. In addition, the lake as a resource for various human activities (fishing, recreation and tourism, power generation, waste water emissions et al.) and as a shelter for nature has to be adequately managed and exploited according to the approved regulations.

Muğla Province, located between 36°17' and 37°33' Northern latitude and 27°13' and 29°46' Eastern longitude, has 13 328 km<sup>2</sup> surface area and a very rough terrain. The province is located in the basins of Büyük Menderes, Dalaman and Eşen Rivers and surrounded by the Mediterranean Sea in the South and the Aegean Sea in the West. Muğla Province is rich in terms of fresh water resources with major water resources in the province being the Eşencay and Dalaman Rivers, Bafa Lake, Güllük Lagoon and Köyceğiz Lake.

This study was carried out between June 2011 and May 2012 in these important lakes; Köyceğiz, Bafa and Limni Lake. These stations, selected these lakes were investigated for water quality aspects. In total 15 stations points were water sampled on these lakes. Water temperature, pH and electrical conductivity, dissolved oxygen were measured on site by using YSI 556 MPS multi-probe instrument. Samples taken from the site were measured in terms of ortho-phosphate, nitrite nitrogen, nitrate nitrogen and ammonium nitrogen in the Basis Sciences Laboratory of Fishing Faculty in Muğla Sıtkı Koçman University.

Water samples, taken from these stations were studied for physico-chemical evidences. Results of the study were determined as: water temperature (11.43-28.62 °C), pH (6.03-8.90), electrical conductivity (403.6-2124 µScm<sup>-1</sup>), dissolved oxygen (1.73-11.42 mgL<sup>-1</sup>), nitrite nitrogen (BDL-0.12 mgL<sup>-1</sup>), nitrate nitrogen (BDL-25.85 mgL<sup>-1</sup>), ammonia nitrogen (BDL-1.64 mgL<sup>-1</sup>) and ortho-phosphate (BDL-1.24 mgL<sup>-1</sup>). Physico-chemical data were evaluated in accordance with the Legislation of Water Pollution Control. As a conclusion of this study the pollution in these lakes were seen to be mostly influenced by a combination of anthropogenic factors, agricultural pollutants, tourism activities, domestic waste and sewage water.

**Keywords:** Anthropogenic factors, Köyceğiz Lake, Bafa Lake, Limni Lake, Physico-chemical parameters, Tourism activities, Water quality, Water pollution

## 1. Introduction

A basic feature of the earth is an abundance of water, which extends over 71% of its surface to an average depth of 3800 m. Over 99% of this immense hydrosphere is deposited in ocean depressions. The relatively small amounts of water that occur in freshwater lakes and rivers belie their fundamental importance in the maintenance and survival of terrestrial life. Discrepancy among rivers, lakes and their physical, chemical, and biological properties was the driving force behind the half century of lake classification studies (Wetzel 2001).

Protecting lake ecosystems allows us to offer clean water, healthy food and more. Mismanagement of lake ecosystems leads to increased water pollution, water-related diseases and flood disasters. They are also important for leisure and recreation. Since the beginning of the 20th century 2/3 of European inland water has been lost due to engineering construction works, draining and conversion to arable and the fresh water resources of Turkey are extremely rich, including 200 natural lakes, 2500 reservoirs and 33 rivers with a total area of 1,5 million ha (Anonymous 2000).

The Köyceğiz Lake was established about 7500 years ago. Having an area of 5200 hectares (Table 1), Köyceğiz Lake in the province of Muğla is one of the vastest coastal lakes of Turkey. It bears the name of the village of Köyceğiz (Franzen et al. 2008).

Bafa Lake is located on Delta of Büyük Menderes River. Bafa Lake, formerly a bay of the Aegean Sea, was isolated from the sea as a result of alluvium blockage of the opening of Latmos Bay caused by alluvial deposits of the Büyük Menderes River in 50-300 AD. The lake was developed as a result of delta development of Büyük Menderes (Maeander) river (Kasperek 1988). The Lake Bafa is an alluvial bar lake located in the Aegean Region in the Big Meander river basin in Aydın and Muğla Provinces (Table 1).

The Güllük Lagoon, which is important for ecological and aquaculture and covers an area of approximately 2500 da with a depth ranging from 0,5-2,5 m, is one of the 8 lagoons present in the Aegean Region. Limni Lake, which is one of efficiency lagoons of Aegean Region, covers an area of approximately 68 ha (Egemen et al. 1999).

The region which was characterised by extensive tectonic activity in geologic times was also struck by many earthquakes during historic times. The seismic activity is still going on (Soysal et al. 1981). The springs located in the basin could have been associated with fault extending down Bafa Lake. Some small brooks, groundwater sources located on the floor of the lake, flooding of the Büyük Menderes River and precipitation were freshwater sources fed the lake. The construction of the barrier in 1985 prevented the floods of the Serçin village from the Büyük Menderes River. So it does not enter an important entrance from the river to the lake (Koç2010). This barrier and the decrease in precipitation due to climate change lowered the lake level and increased chemical concentrations.

The Köyceğiz Lagoon Basin, which has been heard in various publications since the 1980s, has begun to draw attention to researchers, environmental advocates and investors with its natural and cultural values. Many agriculture and fishery products providing touristic inputs are raised in this region and they are immediately reached to the sector. Since fresh waters (Lake, streams and rivers) and sea are side by side which ensuring tourism to be formed, Köyceğiz, Bafa and Limni Lakes became one of the most important touristic areas of Turkey (Figure 1). Köyceğiz, Bafa and Limni Lakes which form the basis of tourism, fish culture and oil farm are intertwined here. However, it is mentioned by many researches performed in it that there is an ocular environmental pollution due to the fact that required care and sensitivity are not taken. A rapid but non-planned structuring stands out in the region which is an ideal environment for tourism investments with its natural and ancient values. Especially Köyceğiz Lagoon Basin is the first sample in



Turkey as a planned tourism progress directed by the State which is examined due to damages to natural environment and ecological values. In this context, the regions are included into the “Private Environment Protection Area (PEPA)” set by a decree law dated as 13th November 1989 and numbered as 383. The region is also discussed both for positive and negative aspects of both previous and today’s investments in a period in which rationalistic managements with multi-purposes of shorelines are discussed internationally and in which seekings are done. Besides freshwaters, natural lakes, dam lakes were studied in the region (Barlas et al. 1995, Dögel 1995, Özdemir et al. 1995, Barlas et al. 2000, Kazancı and Dögel 2000, Barlas et al. 2002; Özdemir et al. 2003, Yorulmaz et al. 2003, Yılmaz 2004, Balık et al. 2005, Dirican and Barlas 2005, Özdemir et al. 2007, Barlas et al. 2008, Kalyoncu et al. 2008, Erdinç2010 and De Sa Matos Paixao 2011).

## 2. Material and Methods

### 2.1. Study area

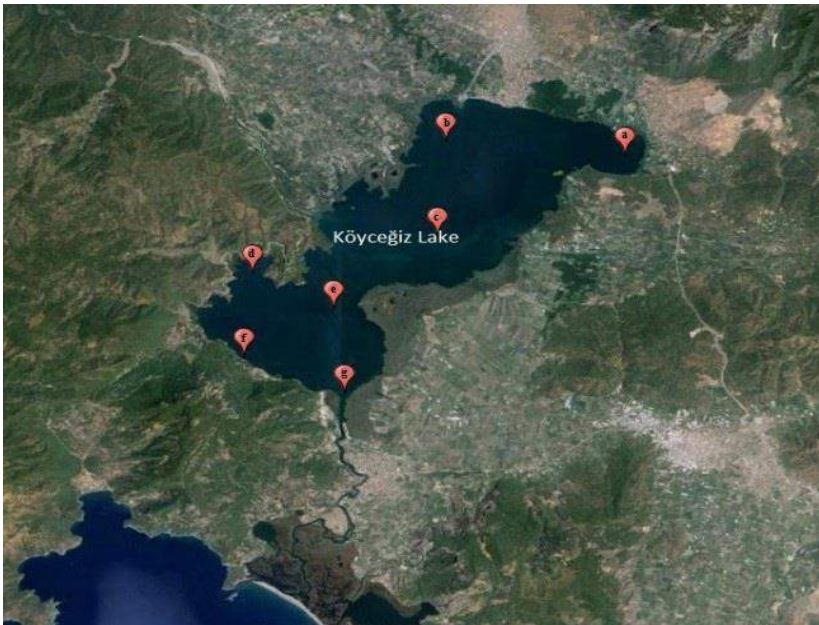
Muğla province is located between 36°17' and 37°33` Northern latitude and 27°13` and 29°46` Eastern longitude, has 13328 km<sup>2</sup> surface area and a very rough terrain. The province is located in the basins of Büyük Menderes, Dalaman and Esen Rivers and surrounded by the Mediterranean Sea in the South and the Aegean Sea in the West. Muğla province is rich in terms of freshwater resources with major water resources in the province being the Eşen and Dalaman River and Köyceğiz Lake (Anonymous 1998).

### 2.2.Sampling and Analysis

In total of 15 stations points were water sampled on these lakes (Figure 1). Water temperature, pH, electrical conductivity and dissolved oxygen were measured on site by using YSI 556 MPS multi-probe instrument. Samples taken from the site were measured in terms of ortho-phosphate, nitrite nitrogen, nitrate nitrogen and ammonium nitrogen in the Laboratory of Fisheries Faculty in Muğla Sıtkı Koçman University. The one way analysis of variance (ANOVA) was conducted to evaluate among the sample stations. The Tukey multiple range test was used to discriminate between means. All statistical analyses were performed in the SPSS version 21 statistical software (IBM, New York, NY), and statistical decisions were based on an alpha of 0.05. Results some of physico-chemical analysis from selected stations were calculated as minimum and maximum values were given at Table 2.

**Table 1.** Overview of Köyceğiz, Bafa and Limni Lakes in study area (Kazancı et al., 1999).

<b>Lake Properties</b>	<b>Köyceğiz</b>	<b>Bafa</b>	<b>Limni</b>
<b>Surface measurement (km<sup>2</sup>)</b>	55.0	68.6	2.5
<b>Lake Type</b>	Meromictic Lake	Lagoon Lake	Lagoon Lake
<b>Location</b>	Köyceğiz-Muğla Province	Between Muğla-Aydın Provinces	Milas-Muğla Province
<b>Maximum Deep (m)</b>	25	21	3.0
<b>Covering Area (km<sup>2</sup>)</b>	250	315	12
<b>Above Sea Level (m)</b>	8.0	2.0	1.0
<b>Climate Type</b>	Mediterranean	Mediterranean	Mediterranean
<b>Coordinates</b>	36° 54' N 28° 38' E	37° 30' N' 27° 25' E	37° 15' N 27° 38' E
<b>Connect Freshwaters</b>	Yuvarlakçay stream, Namnam stream, Kargıcak river	Büyük Menderes river	DSI drainage channel
<b>Number of Stations</b>	7	5	3



**Figure 1.** Location map of the study area (from Google Earth).

**Table 2.** June 2011 and May 2012 values of physico-chemical properties at the stations points (BDL: below detection limits).

Lakes Parameters	Köyceğiz Lake				Bafa Lake				Limni Lake			
	(Min-Max)	n	Std. deviation	Mean	(Min-Max)	n	Std. deviation	Mean	(Min-Max)	n	Std. deviation	Mean
Water Temperature (°C)	11.53-28.62	84	4.83	21.07	14.32-27.33	60	3.72	19.50	11.43-27.99	36	4.58	19.87
pH	7.87-8.90	84	0.24	8.18	7.55-8.61	60	0.31	8.17	6.03-8.28	36	0.40	7.78
Dissolved oxygen (mgL <sup>-1</sup> )	6.01-10.09	84	1.25	7.94	5.03-8.15	60	0.78	7.07	1.73-11.42	36	1.60	6.76
Electrical conductivity (µScm <sup>-1</sup> )	403.6-1204	84	230.05	710.93	868-2124	60	276.06	1525.93	600-1857	36	239.60	816.63
Nitrite nitrogen (NO <sub>2</sub> -N)(mgL <sup>-1</sup> )	0.02-0.04	84	0.00	0.02	BDL-0.02	60	0.00	0.00	BDL-0.12	36	0.02	0.05
Nitrate nitrogen (NO <sub>3</sub> -N)(mgL <sup>-1</sup> )	BDL-14.33	84	2.16	1.15	BDL-25.85	60	5.74	5.18	1.01 - 15.38	36	3.52	4.22
Ammonia nitrogen (NH <sub>4</sub> -N) (mgL <sup>-1</sup> )	0.03 -1.03	84	0.21	0.13	BDL-1.64	60	0.38	0.34	0.13 - 1.29	36	0.41	0.52
Ortho-phosphate (PO <sub>4</sub> -P)(mgL <sup>-1</sup> )	0.02 -0.26	84	0.06	0.10	BDL-0.52	60	0.09	0.10	0.06 - 1.24	36	0.41	0.44

Water samples were taken from the surface layer at the selected sampling points. Water analysis results were evaluated in accordance with “Quality Criteria of Inland Water Resources Categories” of Water Pollution Control Regulation (Table 3) (Anonymous 2008). Most of the sites on water sources were of ‘high and poor’ status (Table 4).

**Table 3.** Water quality of stations on lakes to WPCR (Anonymous 2008).

Water Parameters Lakes	T (°C)	pH	DO (mgL <sup>-1</sup> )	NO <sub>2</sub> -N (mgL <sup>-1</sup> )	NO <sub>3</sub> -N (mgL <sup>-1</sup> )	NH <sub>4</sub> -N (mgL <sup>-1</sup> )	PO <sub>4</sub> -P (mgL <sup>-1</sup> )
Köyceğiz	Good	Moderate	Good	Moderate	Moderate	Poor	Moderate
Bafa	Good	Moderate	Good	Poor	Poor	Poor	Moderate
Limni	Good	Good	Moderate	Poor	Mod-Poor	Poor	Poor

**Table 4.** Quality Criteria of Inland Water Resources Categories of Water Pollution Control Regulation (Anonymous 2008).

Water Quality Parameter	Water Quality Classification			
	I (High)	II (Good)	III (Moderate)	IV (Poor)
Water Temperature (°C)	25	25	30	>30
pH	6.5-8.5	6.5-8.5	6.0-9.0	6.0-9.0
Dissolved oxygen (O <sub>2</sub> mgL <sup>-1</sup> )	8	6	3	<3
Ammonia nitrogen (NH <sub>4</sub> -N mgL <sup>-1</sup> )	0.002	0.01	0.02	>1
Nitrite nitrogen (NO <sub>2</sub> -N mgL <sup>-1</sup> )	0.002	0.01	0.05	>0.05
Nitrate nitrogen (NO <sub>3</sub> -N mgL <sup>-1</sup> )	5	10	15	>20
Ortho-phosphate (PO <sub>4</sub> -P mgL <sup>-1</sup> )	0.02	0.16	0.65	>0.65

3. Results and Discussion

**Table 5.** Results of physico-chemical properties of water samples taken from the Köyceğiz Lake

Locations	T (°C)	pH	DO (mgL <sup>-1</sup> )	EC (µScm <sup>-1</sup> )	NO <sub>2</sub> -N (mgL <sup>-1</sup> )	NO <sub>3</sub> -N (mgL <sup>-1</sup> )	NH <sub>4</sub> -N (mgL <sup>-1</sup> )	PO <sub>4</sub> -P (mgL <sup>-1</sup> )
a	20.45±5.14	8.16±0.25	7.20 <sup>c</sup> ±0.89	587.58 <sup>cd</sup> ±86.19	0.02 <sup>a</sup> ±0.00	0.78±0.73	0.05 <sup>b</sup> ±0.01	0.08 <sup>b</sup> ±0.05
b	21.30±4.40	8.14±0.22	7.27 <sup>bc</sup> ±0.69	736.50 <sup>bc</sup> ±153.69	0.02 <sup>a</sup> ±0.00	0.97±1.50	0.01 <sup>b</sup> ±0.21	0.11 <sup>b</sup> ±0.06
c	20.69±5.35	8.25±0.29	8.53 <sup>ab</sup> ±1.26	791.75 <sup>ab</sup> ±266.75	0.01 <sup>b</sup> ±0.00	0.95±1.40	0.07 <sup>b</sup> ±0.01	0.06 <sup>b</sup> ±0.21
d	21.31±5.01	8.13±0.21	7.93 <sup>ab</sup> ±1.70	897.25 <sup>ab</sup> ±101.93	0.02 <sup>a</sup> ±0.00	0.93±1.94	0.09 <sup>b</sup> ±0.04	0.10 <sup>b</sup> ±0.04
e	21.91±5.79	8.30±0.28	8.65 <sup>a</sup> ±1.14	496.33 <sup>d</sup> ±48.87	0.02 <sup>a</sup> ±0.00	0.51±1.49	0.04 <sup>b</sup> ±0.02	0.08 <sup>b</sup> ±0.06
f	18.91±2.67	8.12±0.20	8.91 <sup>a</sup> ±0.69	522.38 <sup>d</sup> ±73.77	0.02 <sup>a</sup> ±0.00	1.74±2.70	0.06 <sup>b</sup> ±0.02	0.07 <sup>b</sup> ±0.03
g	22.88±5.04	8.18±0.24	7.08 <sup>c</sup> ±0.62	944.75 <sup>a</sup> ±260.66	0.02 <sup>a</sup> ±0.00	2.20±3.87	0.48 <sup>a</sup> ±0.36	0.20 <sup>a</sup> ±0.04

Mean ± SE with common superscripts in the same line are not significantly different (p>0.05).

Köyceğiz Lagoon Basin in Private Environment Protection Area is unique in the world by its geographical properties (lakes, lagoons, freshwaters, drains and sea systems). Water temperature, pH and nitrate nitrogen values are similar on all the stations in Table 5. Annual differences weren't statistically significant (p > 0.05) The DO value was the lowest in the a station (7.20±0.89 mgL<sup>-1</sup>) and the highest in the f station (8.91±0.69 mgL<sup>-1</sup>) in Köyceğiz Lake as presented in Table 5. Annual differences were statistically significant (p < 0.05). DO values were low at all stations. This decrease was expected as a result of hydrological conditions and untreated wastewater discharges. Water quality at Köyceğiz Lake II. class in terms of DO values. EC, ammonia nitrogen and ortho-phosphate values were the highest in the g station in Köyceğiz Lake (Table 5). And nitrite nitrogen value was the lowest in the c station (0.01±0.00mgL<sup>-1</sup>) in Köyceğiz lake (Table 5). High ammonia levels in water cause various problems in fish such as damaging the gills and blood hemoglobin. Most fish species can only tolerate 0.02–0.10mgL<sup>-1</sup> of ammonia (Pulatsü and Çamdeviren 1999). Water quality at Köyceğiz Lake IV. class in terms of NH<sub>4</sub>-N values (Table 3). In terms of o-PO<sub>4</sub>, the water of the Köyceğiz lake can be classified as class III according to the (WPCR 2008).

**Table 6.** Results of physico-chemical properties of water samples taken from the Bafa Lake

Locations	T (°C)	pH	DO (mgL <sup>-1</sup> )	EC (µScm <sup>-1</sup> )	NO <sub>2</sub> -N (mgL <sup>-1</sup> )	NO <sub>3</sub> -N (mgL <sup>-1</sup> )	NH <sub>4</sub> -N (mgL <sup>-1</sup> )	PO <sub>4</sub> -P (mgL <sup>-1</sup> )
h	18.41±3.73	8.26±0.28	7.32±0.79	1353.75±173.61	BDL	6.49±6.29	0.18±0.33	0.07±0.05
i	18.51±3.03	8.12±0.25	7.19±0.77	1505.00±275.72	BDL	6.31±4.90	0.21±0.16	0.07±0.03
j	19.19±3.52	8.20±0.29	7.20±0.80	1458.75±253.22	BDL	2.62±2.11	0.39±0.42	0.08±0.06
k	20.60±3.72	8.15±0.34	6.97±0.73	1683.91±225.02	BDL	2.49±1.67	0.45±0.35	0.19±0.16
l	20.79±4.42	8.11±0.37	6.67±0.79	1628.25±333.83	BDL	7.98±8.90	0.48±0.49	0.10±0.07

Mean ± SE with common superscripts in the same line are not significantly different (p>0.05).

Water temperature, pH, dissolved oxygen, electrical conductivity, nitrite nitrogen, nitrate nitrogen, ammonia nitrogen, ortho-phosphate values are similar on all the stations in Table 6. Annual differences weren't statistically significant (p>0.05). Water quality at Bafa Lake was IV. class in terms of NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N and NH<sub>4</sub>-N values. Similarly the nitrate and nitrite, levels were reported low in Lake Bafa (Yılmaz and Koç 2014). There is intensive agricultural activity (green housing and citrus fruits) around Köyceğiz, Bafa and Limni Lake with most of the farmers using significant amounts of chemicals (mainly pesticides and fertilizers) to earn more. The amount of the dissolved oxygen in the lakes generally gives information about the pollution level and the productivity of a lake (Koç 2008). And Water quality at Bafa Lake II. class in terms of DO values. This parameter is similar to Köyceğiz Lake. Low oxygen

concentrations will also affect the types on fish and invertebrates that inhabit the area (Yılmaz and Koç 2014). DO values are suitable for fish survival.

**Table 7.** Results of physico-chemical properties of water samples taken from the Limni Lake

Locations	T (°C)	pH	DO (mgL <sup>-1</sup> )	EC (µScm <sup>-1</sup> )	NO <sub>2</sub> -N (mgL <sup>-1</sup> )	NO <sub>3</sub> -N (mgL <sup>-1</sup> )	NH <sub>4</sub> -N (mgL <sup>-1</sup> )	PO <sub>4</sub> -P (mgL <sup>-1</sup> )
<b>m</b>	19.85±5.23	7.80±0.25	6.33±1.05	751.16±83.27	0.04 <sup>b</sup> ±0.00	2.74±2.04	0.49±0.42	0.27±0.34
<b>n</b>	20.61±4.60	7.82±0.30	7.56±1.60	782.75±245.367	0.05 <sup>ab</sup> ±0.18	5.60±4.87	0.53±0.41	0.43±0.39
<b>o</b>	19.13±4.13	7.73±0.59	6.39±1.87	916.00±314.36	0.06 <sup>a</sup> ±0.03	4.33±2.64	0.54±0.44	0.61±0.47

Mean ± SE with common superscripts in the same line are not significantly different (p>0.05).

Water temperature, pH, dissolved oxygen, electrical conductivity, nitrate nitrogen, ammonia nitrogen, ortho-phosphate values are similar on all the stations in Limni Lake (Table 7). Annual differences weren't statistically significant (p>0.05). The NO<sub>2</sub>-N value was measured as the lowest in the m station (0.04±0.00mgL<sup>-1</sup>) and the highest in the o station (0.06±0.03mgL<sup>-1</sup>) as presented in Table 7. In all of the 3 stations, significant differences were determined in the annual NO<sub>2</sub>-N levels (p<0.05). The average nitrite–nitrogen level was reported to be 0.043 mgL<sup>-1</sup> and 0.147mgL<sup>-1</sup> in the Uluabat and Mogan lakes (Isçen et al. 2008, Demir et al. 2014). Ortho-phosphate upper limit is accepted 0.02 mgL<sup>-1</sup> for lakes which have no problem with algae. However, all values are above this limit in this study. It shows that lake has a problem with algae.

#### 4. Conclusion

Conclusion of this study the pollution in these lakes were seen to be mostly influenced by a combination of anthropogenic factors, agricultural pollutants, tourism activities, domestic waste and sewage water. Biological diversity and ecosystem should be protected. Water budget should be controlled and optimum usage balance of water should be constituted. Moreover, activities which will pollute water sources and effect beds of these resources should be prevented.

Activities of agriculture and tourism in the region should be arranged. Awareness in the region should be increased. And also, present income sources should be increased and alternative income sources should be created. Public people should work in new projects, facilities should include a public relations expert, environmental education studies should be done for women and children and participation of these studies should be provided.

#### References

- Anonymous (1998). Report on the environmental position of Muğla city. Muğla Governorship Provincial Directorate of Environment Publication (in Turkish).
- Anonymous (2000). Strategies for developing fisheries in Turkey. T. R Ministry of Agriculture and Rural Affairs General Directorate of Protection and Control Publication No: 8. Ankara pp 54, (in Turkish).
- Anonymous (2008). Water Pollution Control Regulation, 13 February 2008 dated and number 26786 Official Gazette, Ministry of Environment and Forest, Ankara.
- Balık, S., Ustaoglu, M.R., Sari, H.M., İlhan, A. & Topkara, E.T. (2005). Fish Fauna of Yuvarlakçay (Köyceğiz, Muğla) E.U. Journal of Fisheries & Aquatic Sciences 22(1-2): 221–223.
- Barlas, M., İkiel, C. & Ozdemir, N. (1995). Physical and chemical examination of stream resources of Gökova Bay. East Anatolia Region I. (1993) and II (1995) water resources symposium, Erzurum, Atatürk University, 704-712.
- Barlas, M., İmamoglu Ö. & Yorulmaz, B. (2002). Investigation of Water Quality of Tersakan Stream (Muğla-Dalaman), XVI. National Biology Congress, Malatya (in Turkish).
- Barlas, M., Yılmaz, F., İmamoglu, Ö. & Akboyun Ö. (2000). Physico-chemical and Biological Investigation of Yuvarlakçay (Köyceğiz-Muğla), I. Fisheries Symposium, Sinop, 249-265.
- Barlas, M., Yılmaz, F., Yorulmaz, B. & Kalyancu, H. (2008). Ecological Status of Inland Waters of Muğla. EIFAC Symposium on Interactions Between Social, Economic and Ecological Objectives of Inland Commercial and Recreational Fisheries and Aquaculture, Antalya 21-24 May 2008, 34-43.
- De Sa Matos Paixao, L.S. (2011). Water Quality Investigation of Namnam Creek Which Feeds Köyceğiz Lake. Master thesis, Muğla University Institute of Science and Technology. p. 67, Muğla.
- Demir, A.N., Fakioğlu, O., & Dural B., (2014) Phytoplankton functional groups provide a quality assessment method by the Q assemblage index in Lake Mogan (Turkey). Turk J Bot 38: 169–179.
- Dirican, S. & Barlas, M. (2005). Physio-chemical characteristics and fish of Çine (Muğla-Aydın) stream, (in Turkish). Ekology 14 (54), 25-30.
- Dügel, M. (1995). Determination of Water Quality Of Running Waters Inflowing to Köyceğiz Lake Based on Physico-chemical and Biological Parameters, Master Thesis, Hacettepe University, Institute of Science and Technology, 87pp.



- Egemen, Ö., Önen M., Büyükkışık, B., Hoşsucu, B., Sunlu, U., Gökpınar, Ş., Cirik, S. (1999). Güllük Lagünü (Ege Denizi, Türkiye) Ekosistemi, *Tr.J. of Agriculture and Forestry*, 23 (1999) Ek Sayı 3: 927-947.
- Erdoğan, S.Ö. (2010). Water Quality Investigation of Kadın Creek and Akçapınar Creek that Fed Gökova Bay. Master thesis, Muğla University Institute of Science and Technology, p. 88.
- Franzen, M., Bubmann, M., Kordges Th., Thiesmeier, B. & Verlag L., (2008). Die Amphibien and Reptilien der Südwest-Türkei. ISBN 978-3-933066-38-1.
- Iscen, F.C., Emiroglu, Ö., İlhan, S., Arslan, N., Yılmaz, V. & Ahiska, S., (2008). Application of multivariate statistical techniques in the assessment of surface water quality in Uluabat Lake. Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 144(1-3):269–276.
- Kalyoncu, H., Barlas, M., Yıldırım, M.Z. & Yorulmaz, B. (2008). Gastropods of two important streams of Gökova Bay (Muğla, Turkey) and their relationships with water quality. *International Journal of Science & Technology*. Vol: 3, No:1, 27-36.
- Kasperek (1988). *Der Bafasee: Natur und Geschichte in der Turkischen Agais* (German Edition), page 174, Germany
- Kazancı, N. & Dügel M. (2000). An Evaluation of Water Quality of Yuvarlakçay Stream in the Köyceğiz - Dalyan Protected Area, SW Turkey, *Tr. J. of Zoology* 24, 69-80.
- Kazancı, N., Dügel, M., Oğuzkurt, D., & Girgin, S. (1999) Limnology of meromictic lake Köyceğiz in Köyceğiz-Dalyan Nature Reserve Area in South-Western Turkey and preliminary recommendations for its management. *Proceeding of 8th Int. Conf. on the Conservation and Management of Lakes. Sustainable Lake Management*, pp.9
- Koc, C. (2008) The effects of the environment and ecology projects on lake management and water quality, *Environmental Monitoring and Assessment*, 146(1-3):397–409.
- Koc, C. (2010). A Study on the Pollution and Water Quality Modeling of the River Büyük Menderes, Turkey, *Clean Soil Air Water*, 38(12):1169-1176.
- Özdemir, N., Barlas, M., & Özdemir, N. (1995). Limnological Investigation of Kocagöl in Dalaman-Kapugargın Village, Eastern Anatolia Region I. (1993) and II. Fisheries Symposium, Erzurum, Turkey, 89-92.
- Özdemir, N., Yılmaz, F. & Yorulmaz, B. (2007). Investigation of Some Physico-chemical Parameters and Fish Fauna of Bereket Hydro-Electric Power Plant Dam Lake on Dalaman Stream, *Journal of Ecology*, 16 (62):30-36.
- Özdemir, N., Yılmaz, F., Barlas, M. & Yorulmaz, B. (2003). Namnam Stream (Köyceğiz) Fish Fauna and Ecological Characteristics, XII. National Fisheries Symposium, 2-5 September, 166-170.
- Pulatsü, S., & Çamdeviren, H (1999). Water quality parameters in inflow of Sakaryabası trout farm. *J Agric Sci* 5(2):30–35.
- WPCR, (2008). Water Pollution Control Regulation. Date/Number of Official Newspaper, 31.12.2004/25687.
- Soysal, H., Sipahioglu, S., Kolçak, D. & Altınok, Y. (1981). Historical Earthquake Catalogue Of Turkey And Surrounding Area (2100 B.C.–1900 A.D.). Technical Report, Tübitak, No. Tbag-341.
- Wetzel, R.G. (2001). *Limnology Lake and River Ecosystems*. Third Edition, Elsevier Academic Press, An Imprint of Elsevier, p.1006, USA.
- Yılmaz, F. (2004). Physico-chemical features of Mumcular Dam Lake (Bodrum-Muğla), *Ekology*, 13(50):10-17.
- Yılmaz, E., & Koç, C. (2014). Research On Water Quality Of Lake Bafa In Turkey. *Environmental Engineering and Management Journal*, 13(1):153-162.
- Yorulmaz, B., Barlas, M., Özdemir, N. & Yılmaz, F. (2003). Dalaman Stream (Muğla) Biological Evaluation of Water Quality, XII. National Aquaculture Symposium, Elazığ 42-47



# Leaf and Flower Volatile Oil Components of Two Thyme Taxa *Origanum onites* L. and *Thymbra spicata* var. *spicata* L. in Turkey

Ayşe Gül Sarıkaya<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Bursa Technical University, Faculty of Forestry, Bursa-Turkey (ORCID: 0000-0002-0641-4445)

(İlk Geliş Tarihi 10 Eylül 2019 ve Kabul Tarihi 14 Ekim 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.618187)

**ATIF/REFERENCE:** Sarıkaya, A. (2019). Leaf and Flower Volatile Oil Components of Two Thyme Taxa *Origanum onites* L. and *Thymbra spicata* var. *spicata* L. in Turkey. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 346-350.

## Abstract

Medicinal and aromatic plants have a special importance with volatile oil components. Lamiaceae family members are important in pharmacology and perfumery industry because they contain volatile and aromatic oil. *Origanum onites* L. and *Thymbra spicata* var. *spicata* L. are the most widely used and most exported species. The volatile components of the leaves and flowers of *Origanum onites* L. and *Thymbra spicata* var. *spicata* taxa were determined by Headspace Solid Phase Microextraction (HS-SPME) technique combined with gas chromatography/mass spectrometry (GC / MS). 33 different components of *Origanum onites* were identified and the main components were p-cymene (11.45%),  $\gamma$ -terpinene (11.89%), linalool (14.35%), thymol (20.03%) and carvacrol (26.91%), respectively. For *Thymbra spicata* var. *spicata* L., 36 different compounds were identified and the main components were p-cymene (11.72%),  $\gamma$ -terpinene (10.96%), linalool (13.44%), thymol (18.92%) and carvacrol (27.34%), respectively. Oxygen containing monoterpenes have been found to be high.

**Keywords:** *Origanum onites* L., *Thymbra spicata* var. *spicata* L., SPME, carvacrol, thymol, Turkey

## İki Kekik Taksonu *Origanum onites* L. ve *Thymbra spicata* var. *spicata* L.'nin Yaprak ve Çiçek Uçucu Bileşenleri

### Öz

Tıbbi ve aromatik bitkiler grubunda özellikle uçucu yağ içeriği açısından zengin olanların ayrı bir önemi bulunmaktadır. *Lamiaceae* familyası üyeleri uçucu ve aromatik yağ içermelerinden dolayı farmakoloji ve parfümeri sanayinde önemlidir. *Lamiaceae* familyasının ihracatı en çok yapılan ve uçucu yağ üretiminde kullanılan türleri ise; *Origanum onites* L. ve *Thymbra spicata* var. *spicata* L. dir. *Origanum onites* L. ve *Thymbra spicata* var. *spicata* L. taksonlarının yaprak ve çiçeklerinin uçucu bileşenleri gaz kromatografisi/kütle spektrometresi (GC/MS) ile kombine edilmiş Tepe Boşluğu-Katı Faz Mikro Ekstraksiyon (HS-SPME) tekniği ile belirlenmiştir. *Origanum onites*'te 33 farklı bileşen tespit edilmiş olup ana bileşenler p-cymene (%11.45),  $\gamma$ -terpinene (%11.89), linalool (%14.35), thymol (%20.03) ve carvacrol (%26.91)'dur. *Thymbra spicata* var. *spicata* L.'da 36 farklı bileşen tespit edilmiş olup ana bileşenler p-cymene (%11.72),  $\gamma$ -terpinene (%10.96), linalool (%13.44), thymol (%18.92) ve carvacrol (%27.34)'dur. Oksijenli monoterpenleri yüksek oranda bulunduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *Origanum onites* L., *Thymbra spicata* var. *spicata* L., SPME, carvacrol, thymol, Türkiye

<sup>1</sup> Corresponding Author: Bursa Technical University, Faculty of Forestry, Bursa-Turkey, ORCID: 0000-0002-0641-4445, [aysegulsarikaya86@gmail.com](mailto:aysegulsarikaya86@gmail.com)

## Introduction

Volatile oils (essences, ethereal oils) and their aromatic extracts are widely used as a source of fragrance, food additives, cleaning products, in fragrance of cosmetics and medicines and also in taste industries, as a source of aroma-chemicals or as a starting material for synthesis of naturally identical and semi-synthetic beneficial aroma chemicals (Weiss, 1997). The Lamiaceae family members which are represented by 45 genera and 546 species in Turkey, are important in pharmacology and perfumery industry due to comprising volatile and aromatic oils (Secmen et al., 2000).

More than 15 plant species in Turkey are named and used as "thyme". The majority of these plants belong to *Thymus* of the Lamiaceae family, while others include the genus *Origanum*, *Satureja*, *Majorana* and *Thymbra* (Ozguven and Tansi, 1998; Kocabas and Karaman, 2001).

A well-known folk medicine and spice plant, thyme is mainly used for meat dishes, vegetable dishes, various sauces and salads, cheeses and sausage production, digestive system and upper respiratory tract disorders, indigestion, loss of appetite and cough. It has antiseptic, sedative, gas expectorant, expectorant, cramp solvent properties. Also, it is a highly sought-after spice plant in food storage in recent years due to its antibacterial effects on bacteria causing food spoilage and food poisoning (Bayram et al., 2010). Thyme is a good source of pollen for bees and a source of quality grass in milk-giving animals (Ortiz and Fernandez, 1992).

SPME is a method for combining sample preparation, extraction and condensation in a single step without solvent. Significant gains were obtained in the processing time and costs by this method, while the diagnosis was improved. In addition, it has been observed that there are positive developments in the sample preparation stage and the results. The effectiveness of the SPME method depends on the type and thickness of the material covering the fiber portion in the syringe. Besides, the fact that SPME method is as short as 1-30 minutes shows its advantage over other methods (Vas and Vekey, 2004; Araujo et al., 2007; Donmez and Salman, 2017).

The most widely exported and used in the production of essential oil are *Origanum onites* and *Thymbra spicata* var. *spicata*. *Origanum onites* and *Thymbra spicata* var. *spicata* has been the subject of more researches, mainly due to its wide range and volatile fat content. In other studies, it is seen that different methods are used to determine the essential oil components. The aim of this study was to determine the volatile components, quantities and classes of fresh leaves and flowers of *Origanum onites* and *Thymbra spicata* var. *spicata* that were collected from Sutlegen province of Kas county in Antalya, Turkey.

## Materials and Methods

*Origanum onites* and *Thymbra spicata* var. *spicata* specimens that were collected from stands where these are grown naturally in Sutlegen province of Kas county in Antalya, Turkey during the vegetation period of 2017-2018, constitute the material of the study. Collecting site is situated in the southwestern of Turkey (36° 28' N; 29° 38' E). The leaves and flowers of the plant samples collected from the research area were placed in paper packaging and transferred to the laboratory on the same day without ever being exposed to sunlight. The collected plant materials were dried at room temperature (25 °C). The volatile components of leaves and flowers were determined by the Head Space Solid Phase Micro Extraction (HS-SPME) technique combined with gas chromatography / mass spectrometry (GC/MS). On the basis of the solid phase micro extraction technique, 2 g of the leaves and flower samples taken from each sample were placed in a 10 mL vial and stored at 60 °C for 30 minutes after the mouth was sealed with a silicone cap.

The SPME apparatus was passed through the headspace with 75 µm thin Carboxen/ Poldimethylsiloxane (CAR / PDMS) coated fused silica fiber to adsorb volatiles then injected directly into the capillary column of the Shimadzu 2010 Plus GC-MS device (Restek Rx-5, MS 30 m x 0.25 mm, 0.25 µm). The device is connected to the same brand mass selector detector operated in EI mode (70 eV). This procedure was repeated three times to compare the accuracy of the results and the results were given as average. Helium was used as carrier gas with a flow rate of 1.61 mL per minute. Injection and detection temperatures were set at 250°C. Retention Indices (RI) of volatile components are calculated according to the standard of C7-C30 alkane mixtures under the above chromatographic conditions. Identification of the compounds was performed by comparing the mass spectra and the compounds in the spectral library (Wiley, Nist, Tutor, FFNSC).

## Results and Discussion

Volatile components, amounts and classes of leaves and flowers of *Origanum onites* L. and *Thymbra spicata* var. *spicata* were determined according to SPME (solid-based micro extraction) technique. 33 different components of *Origanum onites* were determined. Of them, p-cymene (11,45%), γ-terpinene (11,89%), linalool (14,35%), thymol (20,03%) and carvacrol (26,91%) were found as main components. Also, 36 components were determined for *Thymbra spicata* var. *spicata*. p-cymene (11,72%), γ-terpinene

(10,96%), linalool (13,44%), thymol (18,92%) and carvacrol (27,34%) were main components. Oxygen containing monoterpenes were found to be high (Table 1).

**Table 1.** SPME results for *Origanum onites* L. and *Thymbra spicata* var. *spicata* L.

No	RI	RT	Constituents	O. onites %	T. spicata %	Formula	Category
1.	<700	1.670	2-Methylpropenal	-	0,17	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O	AA
2.	<700	1.873	Acetic acid	0,25	0,17	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	FA
3.	<700	2.178	2-Butenal	0,08	0,08	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O	AAI
4.	<700	2.220	3-Methylbutanal	-	0,11	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	AA
5.	<700	2.311	2-Methylbutanal	-	0,12	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	AA
6.	<700	2.531	1-Penten-3-one	-	0,13	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O	AAI
7.	<700	2.680	Pentanal	0,06	-	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	AAI
8.	703	2.695	Furan	-	0,17	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O	AA
9.	751	3.606	(E)-2-Pentenal	-	0,07	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O	AAI
10.	801	4.596	Hexanal	0,07	0,08	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	AA
11.	850	6.085	(E)-2-Hexenal	0,13	0,83	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	AA
12.	927	8.495	$\alpha$ -Thujene	0,79	1,16	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	MH
13.	933	8.734	$\alpha$ -Pinene	0,94	0,82	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	MH
14.	957	9.365	Camphene	0,40	0,11	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	MH
15.	964	9.788	Benzaldehyde	0,06	0,08	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O	AAI
16.	978	9.535	$\beta$ Pinene	0,18	0,18	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	MH
17.	979	9.805	3-Octenol	1,29	1,09	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	AAI
18.	986	10.445	Vinyl amyl ketone	-	0,15	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O	AAI
19.	991	10.943	$\beta$ -Myrcene	2,33	2,51	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	MH
20.	1007	10.647	$\alpha$ -Phellandrene	0,38	0,39	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	MH
21.	1009	10.742	$\delta$ -3-Carene	0,14	0,10	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	MH
22.	1013	10.896	2,4-Heptadienal	0,59	0,49	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> O	AA
23.	1018	11.102	$\alpha$ -Terpinene	1,84	1,57	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	MH
24.	1025	12.255	<b>p-Cymene</b>	11,45	11,72	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	MH
25.	1030	12.414	Limonene	1,37	1,32	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	MH
26.	1031	12.632	1,8-Cineole	0,08	0,09	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	OM
27.	1046	13.163	$\beta$ -Ocimene	0,37	1,34	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	MH
28.	1058	13.544	<b><math>\gamma</math>-Terpinene</b>	11,89	10,96	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	MH
29.	1067	14.020	trans-Sabinene hydrate	0,16	0,53	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	FA
30.	1101	15.265	<b>Linalool</b>	14,35	13,44	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	OM
31.	1180	18.290	Terpineolene	0,41	0,44	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	MH
32.	1198	18.852	$\alpha$ -Terpineol	0,36	0,20	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O	AAI
33.	1300	22.455	<b>Thymol</b>	20,03	18,92	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O	OM
34.	1317	22.715	<b>Carvacrol</b>	26,91	27,34	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O	OM
35.	1418	26.905	Caryophyllene	2,32	2,38	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
36.	1454	26.966	$\alpha$ -Humulene	0,17	0,12	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
37.	1458	27.453	Aromadendrene	0,21	-	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
38.	1508	29.716	$\beta$ -Bisabolene	0,12	0,62	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
39.	1557	29.735	Germacrene B	0,11	-	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	SH
40.	1584	32.035	Caryophyllene oxide	0,16	-	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O	OS
<b>TOTAL</b>				<b>100</b>	<b>100</b>		
<b>Component</b>				33	36		
<b>AA: Aromatic alcohol</b>				0,79	1,97		
<b>AAI: Aromatic aldehyde</b>				1,85	1,80		
<b>FA: Fatty acid methyl ester</b>				0,41	0,70		
<b>MH: Monoterpene hydrocarbon</b>				32,49	32,62		
<b>OS: Oxygenated seskiterpen</b>				0,16	-		

No	RI	RT	Constituents	O. onites %	T. spicata %	Formula	Category
<b>OM: Oxygenated monoterpene</b>				61,37	59,79		
<b>SH: Sesquiterpene hydrocarbon</b>				2,93	3,12		

\***RI:** Retention index, \***RT:** Retention time.

In previous studies, Erdemgil (1992) determined carvacrol as main essential oil component of *Origanum onites*. Also, carvacrol,  $\gamma$ -terpinene and  $\beta$ -bisabolene were found as main components by Ruberto et al. (1993). Results of other studies that were conducted the essential oil components of *Origanum onites*, are in parallel with our study. Unlike other studies, the main components were p-cymene, linalool and thymol in our study.

Kilic (2006) were determined carvacrol, p-cymene,  $\beta$ -myrcene,  $\gamma$ -terpinene,  $\alpha$ -terpinene and trans-caryophyllene as main essential oil components of *Thymbra spicata* var. *spicata* by hydrodistillation and GC / MS analysis. Tumen et al. (2011) found carvacrol as main component of *T. spicata* var. *spicata*. Carvacrol and thymol were found as main components in study of Al-Sheibany et al. (2005). Also, carvacrol, thymol,  $\gamma$ -terpinene and p-cymene were determined by Ravid and Putievsky (1985), carvacrol and  $\gamma$ -terpinene were found by Markovic et al. (2011) as main components of *Thymbra spicata*. In the study of Akgul et al. (1999), carvacrol, thymol,  $\gamma$ -terpinene and p-cymene were found as main components. Carvacrol, thymol,  $\gamma$ -terpinene and p-cymene were found by Fleisher and Fleisher (2005) and also carvacrol,  $\alpha$ -thujene, myrcene,  $\gamma$ -terpinene and p-cymene were determined as main component of *T. spicata* by Barakat et al. (2013). All these results support our research. By the way, linalool was determined as different.

## Conclusions

According to the SPME (solid-based micro extraction) technique, 33 components were determined for *Origanum onites* and also 36 for *Thymbra spicata* var. *spicata*. In both taxa, p-cymene,  $\gamma$ -terpinene, linalool, thymol and carvacrol were found to be main components. The results of the study were compared with leaf and flower samples obtained from different regions and analyzed by hydrodistillation method. They are collected from the nature in an inappropriate and dense manner due to the most widely used and used in the production of essential oil. This situation jeopardizes the extinction of species and narrows its natural distribution areas. Local people and traders should be made aware of the conscious collection and consumption. In addition to the therapeutic properties of the essential oils, it is necessary to take into consideration the harmful aspects and the place and dosage of the essential oils should be well adjusted. Thyme is also consumed as a well-known folk medicine, tea and spice plant. It is recommended that people with sugar and blood pressure should pay attention to their dose while drinking their tea. Detailed studies should be carried out in these areas in order to be used more extensively in the food, cosmetic and pharmaceutical industries.

## References

- Akgul, A., Ozcan, M., Chialva, F., Monguzzi, F. (1999). Essential Oils of Four Turkish Wild-Growing Labiatae Herbs: *Salvia cryptantha* Montbr. et Auch., *Satureja cuneifolia* Ten., *Thymbra spicata* L. and *Thymus cilicicus* Boiss. et Bal. *Journal of Essential Oil Research*, 11(2): 209-214.
- Al-Sheibany IS (2005). Isolation and Identification of Volatile oils from Iraqi Thyme (*Thymbra Spicata*) and study the antimicrobial activity. *Irq. Nat. J. Chem.* 18: 289-298.
- Araujo HC, Lacerda MEG, Lopes D, Bizzo HR, Kaplan MAC (2007). Studies On The Aroma Of Mate (*Ilex paraquariensis* St.Hil.) Using Headspace SolidPhase Microextraction. *Phytochem. Anal.* 18: 469- 474.
- Barakat A, Wakim LH, Apostolides NA, Srour G, Beyrouthy ME (2013). Variation in the essential oils of *Thymbra spicata* L. growing wild in Lebanon according to the date of harvest. *J. Essent Oil Res.* 25: 506-511.
- Bayram E, Kırıcı S., Fansı S, Yılmaz G (2010). "Tıbbi Ve Aromatik Bitkiler Üretimine Arttırılması Olanakları". *Türkiye Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı-I*, 437-456, 11-15 Ocak 2010, Ankara.
- Donmez İE, Salman H (2017). Yaban Mersini (*Myrtus communis* L.) Yaprak ve Meyvelerinin Uçucu Bileşenleri. *Turk. J. For.* 18(4): 328-332
- Erdemgil FZ (1992). *Origanum onites* L. Uçucu Yağının Bileşimi. *Anadolu Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 53s.
- Fleishe, Z, Fleisher A (2005). Extract Analyses of *Satureja thymbra* L. and *Thymbra spicata* L. *Aromatic Plants of the Holy Land and the Sinai. Part XVII. J. Essent Oil Res.* 17: 32-35.
- Kılıç T (2005). Analysis of Essential Oil Composition of *Thymbra spicata* var. *spicata*: Antifungal, Antibacterial and Antimycobacterial Activities. *Z. Naturforsch.* 61: 324-328.
- Kocabaş YZ, Karaman S (2001). Essential oils of Lamiaceae family from South East Mediterranean Region (Turkey). *Pak J Biol Sci.* 4(10):1221-1223.



- Markovic T, Chatzopoulou P, Siljegovic J, Nikolic, M, Glamoclija J, Ciric A, Sokovic M, 2011. Chemical Analysis and antimicrobial activities of the essential oils of *Satureja thymbra* L. and *Thymbra spicata* L. and their main components. Arch. Biol Sci. 63 (2): 457-464.
- Ortiz PL, Fernandez I (1992). Microscopic Study of Honey and Apiary Pollci From the Province of Seville. Departamento de Biologia Vegetaly, Ecologia facultad de Biologia, Apdo, 1095.41080, Sevilla Spain, Abstract.
- Ozguven, M., Tansi, S (1998). In Situ Conservation of Aromatic Plant in Southeastern Turkey Wild Species. The Proceedings of International Symposium on in Situ Conservation of Plant Genetic Diversity, 177-183 S.
- Ravid U, Putievsky E (1985). Composition of Essential Oils of *Thymbra spicata* and *Satureja thymbra* Chemotypes. Planta Med. 51(4):337-8
- Ruberto G, Biondi D, Meli R, Piattelli M (1993). Volatile Flavour Components of Sicilian *Origanum onites* L.. Flavour Fragr J. 8(4):197 - 200.
- Secmen O, Gemici Y, Gork G, Bekat L, Leblebici E (2000). Tohumlu Bitkiler Sistematiği. Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi Yayınları Serisi No: 116, İzmir.
- Tumen G, Ermin N, Ozek T, Kurkuoglu M, Başer KHC (2011). Composition of Essential Oils from Two Varieties of *Thymbra spicata* L. J Essent Oil Res. 6(5):463-468.
- Vas G, Vekey K (2004). Solid-Phase microextraction: a powerful sample preparation tool prior to mass spectrometric analysis. J. Mass Spectrom. 39:233- 254.
- Weiss EA (1997). Essential Oil Crops. J Agric Sci. 129, 121-123.



# **DBYBHY (2007) ve TBDY (2018) Deprem Yönetmeliklerinin Kesit Hasar Sınırları Açısından Kıyaslanması**

Hakan Ulutaş<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Burdur, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1721-7268)

(İlk Geliş Tarihi 16 Eylül 2019 ve Kabul Tarihi 22 Ekim 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.620827)

**ATIF/REFERENCE:** Ulutaş, H. (2018). DBYBHY (2007) ve TBDY (2018) Deprem Yönetmeliklerinin Kesit Hasar Sınırları Açısından Kıyaslanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 351-359.

## **Öz**

Mevcut veya yeni yapılacak betonarme bir yapının deprem güvenliğinin belirlenmesi için öncelikle her bir taşıyıcı elemanın kesit hasar seviyesinin belirlenmesi gereklidir. Bunun için doğrusal olmayan değerlendirme yöntem ile deprem güvenliği belirlenecek yapı analiz edilir. Yapılan analiz sonucu kesitte oluşan şekil değiştirme değerinin, yürürlükte olan yönetmelikteki kesit hasar seviyesine tekabül eden şekil değiştirme üst sınır değerleri ile kıyaslanması ile kesitin hasar seviyesi elde edilir. Dolayısı ile yapıların deprem güvenliğini belirlenmesinde kesit hasar sınır değerlerinin doğru bir şekilde elde edilmesi oldukça önem arz etmektedir. Bu çalışmada, 2019 yılından önce mevcut yapıların deprem güvenliğinin değerlendirilmesinde kullanılan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY,2007) ve 2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) kesit hasar sınırları açısından kıyaslanmıştır. Bunun için birer adet kiriş, kolon ve betonarme perde kesiti belirlenmiştir. Yönetmeliklerin kıyaslamasında mevcut yapıları yansıtması amacıyla düşük dayanımlı ve yeni yapılacak yapıları yansıtması amacıyla iyi dayanımlı olmak üzere iki tip malzeme grubu seçilmiştir. Düşük dayanımlı malzeme grubunda; beton sınıfı C10, donatı sınıfı S220, mesnetlerde 250 mm aralıkta etriye sıklaştırması ve çiroz olmama durumu, iyi dayanımlı malzeme grubunda ise beton sınıfı C25, donatı sınıfı S420, mesnetlerde 10 mm aralıkta etriye sıklaştırması ve yeterli miktarda çiroz olması durumu seçilmiştir. Ayrıca kolon ve betonarme perde kesitleri için 3 farklı eksenel yük seviyesi belirlenmiş, eksenel yük seviyelerinin her biri her iki farklı malzeme durumunda çözümlenerek toplamda 14 adet kesitin, DBYBHY (2007) ve TBDY (2018) deprem yönetmeliklerine göre kesit hasar seviyesine tekabül eden şekil değiştirme üst sınır değerleri elde edilmiştir. Elde edilen şekil değiştirme üst sınır değerlerine bağlı olarak kesit hasar seviyeleri belirlenmiş ve moment eğrilik grafikleri üzerinde gösterilmiştir. Her iki yönetmeliğe göre belirlenen sonuçlar birbiri ile kıyaslanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kesit hasar sınırı, Deprem güvenliği, Moment eğrilik, Şekil değiştirme

## **Comparison of TEC (2007) and TBEC (2018) Earthquake Codes in terms of Section Damage Limits**

### **Abstract**

In order to determine the earthquake safety of an existing or new structure, it is necessary to first determine the cross-sectional damage level of each bearing element. For this purpose, the structure to be determined for earthquake safety is first analyzed with one of the nonlinear assessment methods. The damage level of the section is obtained by comparing the strain value of the cross section with strain upper limit values which is the value corresponding to the level of cross-sectional damage in the code in force. Therefore, it is extremely essential to obtain accurate cross-sectional damage limit values in determining earthquake safety of buildings. In this

\* Sorumlu Yazar: Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Burdur, Türkiye, ORCID: 0000-0003-1721-7268, [hakannulutas@gmail.com](mailto:hakannulutas@gmail.com)

study, Turkish Building Earthquake Code (TEC, 2007) which was used to evaluate earthquake safety of existing buildings before 2019 and Turkish Building Earthquake Code (TBEC, 2018) which was started to be used since the 2019 were compared in terms of section boundaries damage. For this purpose, one beam, column and shear wall section were determined. Two types of material groups were selected: low quality to reflect existing structures and good quality to reflect new structures for comparison of codes. In low quality material group; concrete grade C10, reinforcement grade S220, structural bearing tie densification at 250 mm and non-disturbance piece was selected. In high quality material group; concrete grade C25, reinforcement grade S420, structural bearing tie densification at 10 mm and the presence of sufficient disturbance piece was selected. In addition, 3 different axial load levels were determined for column and shear wall sections. Then, the upper limit values of the strains corresponding to the cross-sectional damage level of totally 14 section were obtained based on the TEC (2007) and TBEC (2018) earthquake codes by analysing each of axial load levels. Cross-sectional damage levels were determined depending on the resulting strain upper limit values and were shown on the moment curvature plots. The results determined according to both codes were compared with each other.

**Keywords:** Section damage limits, Earthquake safety, Moment curvature, Strain

## 1. Giriş

Ülkemiz nüfusunun %95'i ve büyük sanayi merkezlerinin neredeyse tamamı deprem riski etkisinde olduğundan, bu bölgelerde bulunan binaların depreme güvenli olarak inşaa edilmesi gerekmektedir (Öztürk, 2005, Yaman ve ark., 2019). Ülkemizde meydana gelen büyük depremler neticesinde kentsel bölgelerdeki mevcut binaların deprem riskine karşı oldukça dayanıksız olduğu ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla, mevcut betonarme binaların deprem güvenliğinin önceden belirlenmesi ve depreme karşı dayanıksız yapıların güçlendirilmesi hayati önem taşımaktadır (Dilmaç ve ark., 2018). 2019 yılından önce mevcut ve yeni yapılan betonarme yapıların deprem güvenliğinin değerlendirilmesinde Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY,2007) kullanılmaktaydı. 2019 yılından itibaren ise Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) yürürlüğe girmiştir. Yeni deprem yönetmeliğinin yürürlüğe girmesi ile birlikte mevcut ve yeni yapılacak betonarme yapıların deprem güvenliğinin değerlendirmesi konusunda meydana gelen değişiklikler araştırılmaya başlanmış ve literatürde iki yönetmeliğin birbiri ile kıyaslandığı çalışmalar yayınlanmaya başlamıştır. Elci ve Goker (2018), (DBYBHY (2007) ve TBDY (2018)'i betonarme kolonların deprem performansının değerlendirilmesi açısından karşılaştırılmıştır. Yapılan deneysel ve teorik çalışma sonucu TBDY (2018), DBYBHY (2007)'den daha güvenli tarafta kalan deformasyon limitleri verdiği sonucuna varmışlardır. Nemutlu ve Sarı (2018), 4 ve 9 katlı iki yapıyı TBDY (2018) ve DBYBHY (2007)'de verilen esaslar doğrultusunda analiz etmiş, taban kesme kuvvetlerinde meydana gelen değişimlerin nedenlerini gerekçeleriyle birlikte açıklamışlardır. Ulutas ve ark. (2015), FEMA ve Eurocode'da verilen kesit hasar sınırlarını DBYBHY (2007)'de verilen hasar sınırlarıyla kıyaslamışlardır. Işıltan (2010), Betonarme kolonlar için DBYBHY (2007), Eurocode 8 ve FEMA 356 ile yapılan performans değerlendirmelerini yaptığı deney sonuçlarıyla karşılaştırılmasını yapmıştır.

Performans esaslı değerlendirme yönteminin en önemli aşamalarından birisi yapısal elemanların her birinin hasar düzeylerinin belirlenmesidir. Doğrusal olmayan değerlendirme yöntemi ile analiz edilen yapıdaki yapısal elemanların kesitlerinde oluşan şekil değiştirme değerinin, yürürlükte olan yönetmelikteki kesit hasar seviyesine tekabül eden şekil değiştirme üst sınır değerleri ile kıyaslanması ile kesitin hasar seviyesi elde edilir. Dolayısı ile yapıların deprem güvenliğini belirlemede kesit hasar sınır değerlerinin doğru bir şekilde elde edilmesi oldukça önem arz etmektedir. Eleman davranışı kesit davranışından ve kesitin moment-eğrilik ilişkisinden izlenebilir (Ersoy vd., 1998).

Bu çalışmada, TBDY (2018) ve DBYBHY (2007) kesit hasar sınırları açısından kıyaslanmıştır. Bunun için birer adet kiriş, kolon ve betonarme perde kesiti belirlenmiştir. Yönetmeliklerin kıyaslamasında mevcut yapıları yansıtmayı amacıyla düşük dayanımlı ve yeni yapılacak yapıları yansıtmayı amacıyla iyi dayanımlı olmak üzere iki tip malzeme grubu seçilmiştir. Düşük dayanımlı malzeme grubunda; beton sınıfı C10, donatı sınıfı S220, mesnetlerde 250 mm aralıkta etriye sıklaştırması ve çiroz olmama durumu, iyi dayanımlı malzeme grubunda ise beton sınıfı C25, donatı sınıfı S420, mesnetlerde 10 mm aralıkta etriye sıklaştırması ve yeterli miktarda çiroz olması durumu seçilmiştir. Kiriş kesiti için eksenel yük seviyesi sıfır alınmış, kolon ve betonarme perde kesitleri için 3 farklı eksenel yük seviyesi belirlenmiştir. Eksenel yük seviyelerinin her biri her iki farklı malzeme durumunda çözümlenerek toplamda 14 adet kesitin, DBYBHY (2007) ve TBDY (2018) deprem yönetmeliklerine göre kesit hasar seviyesine tekabül eden şekil değiştirme üst sınır değerleri elde edilmiştir. Elde edilen şekil değiştirme üst sınır değerlerine bağlı olarak kesit hasar seviyeleri belirlenmiş ve moment eğrilik grafikleri üzerinde gösterilmiştir. Her iki yönetmeliğe göre belirlenen sonuçlar birbiri ile kıyaslanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

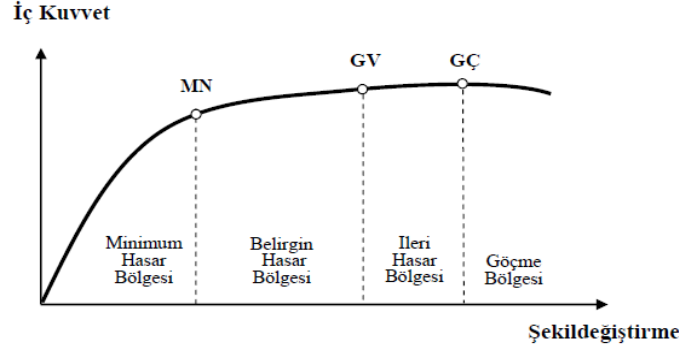
### 2.1. Betonarme Kesitlerin Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

#### 2.1.1. DBYBHY(2007)'e göre Betonarme Kesitlerin Hasar Sınırları ve Hasar Bölgelerinin Belirlenmesi

DBYBHY (2007)'de sünek elemanlar için Minimum Hasar Sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı (GÇ) olmak üzere kesit düzeyinde üç sınır durum tanımlanmıştır. Minimum hasar sınırı ilgili kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını, güvenlik sınırı kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınırını, göçme sınırı ise kesitin göçme öncesi davranışının sınırını tanımlamaktadır. Gevrek olarak hasar gören elemanlarda bu sınıflandırma geçerli olmamaktadır.

Binanın tepe yerdeğiştirme istemine kadar yatay yükün artırılması ile betonarme kesitlerde meydana gelen iç kuvvetlerin ve/veya şekildeğiştirmelerin Tablo 1'de tanımlanan birim şekildeğiştirme sınırları ile karşılaştırılması sonucunda, kesitlerin hasar düzeylerine karar verilir. Elemanın en fazla hasar gören kesiti eleman hasarı olarak tanımlanır.

Kritik kesitlerinin hasarı MN'yi geçmeyen elemanlar Minimum Hasar Bölgesi'nde, MN ile GV arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi'nde, GV ve GÇ arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi'nde, GÇ'yi aşan elemanlar ise Göçme Bölgesi'nde yer alırlar (Şekil 1).



Şekil 1. Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri (DBYBHY, 2007).

Tablo 1. Çeşitli kesit hasar sınırlarına göre izin verilen şekildeğiştirme üst sınırları (DBYBHY, 2007)

Kesit hasar sınırı	Beton şekildeğiştirme üst sınırları	Donatı çeliği şekildeğiştirme üst sınırları
Minimum Hasar Sınırı	$(\epsilon_{cu}) = 0.0035$	$(\epsilon_s) = 0.010$
Güvenlik Sınırı	$(\epsilon_{cg}) = 0.0035 + 0.01 (\rho_s/\rho_{sm}) \leq 0.0135$	$(\epsilon_s) = 0.040$
Göçme Sınırı	$(\epsilon_{cg}) = 0.004 + 0.014 (\rho_s/\rho_{sm}) \leq 0.018$	$(\epsilon_s) = 0.060$

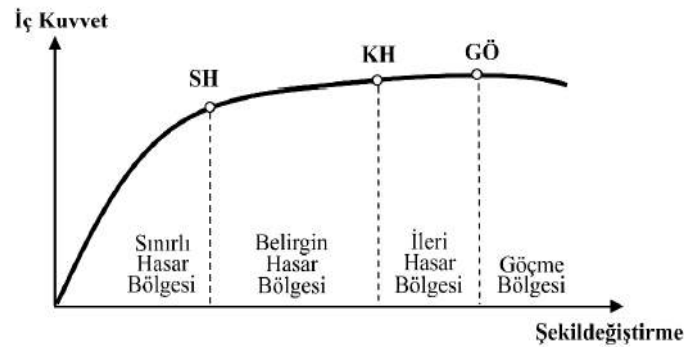
Burada,  $\epsilon_{cu}$ , kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesini;  $\epsilon_{cg}$ , etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesini;  $\epsilon_s$ , donatı çeliği birim şekildeğiştirmesini;  $\rho_s$ , kesitte mevcut bulunan ve DBYBHY (2007) Bölüm 3.2.8'e göre "özel deprem etriyeleri ve çirozları" olarak düzenlenmiş enine donatının hacimsel oranını;  $\rho_{sm}$ , DBYBHY (2007) Bölüm 3.3.4, 3.4.4 veya 3.6.5.2'ye göre tanımlanan kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsel oranını ifade etmektedir.

### 2.1.2. TBDY(2018)'e göre Betonarme Kesitlerin Hasar Sınırları ve Hasar Bölgelerinin Belirlenmesi

TBDY(2018)'de Sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç hasar durumu ve hasar sınırı tanımlanmıştır. Bunlar *Sınırlı Hasar (SH)*, *Kontrollü Hasar (KH)* ve *Göçme Öncesi Hasar (GÖ)* durumları ve bunların sınır değerleridir. Sınırlı hasar ilgili kesitte sınırlı miktarda elastik ötesi davranışı, kontrollü hasar kesit dayanımının güvenli olarak sağlanabileceği elastik ötesi davranışı, göçme öncesi hasar durumu ise kesitte ileri düzeyde elastik ötesi davranışı tanımlamaktadır. Gevrek olarak hasar gören elemanlarda bu sınıflandırma geçerli değildir (TBDY,2018).

Binanın tepe yerdeğiştirme istemine kadar yatay yükün artırılması ile betonarme kesitlerde meydana gelen iç kuvvetlerin ve/veya şekildeğiştirmelerin Tablo 2'de tanımlanan birim şekildeğiştirme sınırları ile karşılaştırılması sonucunda, kesitlerin hangi hasar bölgelerinde olduğuna karar verilir. Elemanın en fazla hasar gören kesiti eleman hasarı olarak tanımlanır.

Kritik kesitlerinin hasarı SH'ya ulaşmayan elemanlar *Sınırlı Hasar Bölgesi*'nde, SH ile KH arasında kalan elemanlar *Belirgin Hasar Bölgesi*'nde, KH ile GÖ arasında kalan elemanlar *İleri Hasar Bölgesi*'nde, GÖ'yü aşan elemanlar ise *Göçme Bölgesi*'nde yer alırlar (Şekil 2).



Şekil 2. Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri (TBDY,2018)

Tablo 2. Çeşitli kesit hasar sınırlarına göre izin verilen şekildeğiştirme üst sınırları (TBDY, 2018)

Kesit hasar sınırı	Beton şekildeğiştirme üst sınırları	Donatı çeliği
--------------------	-------------------------------------	---------------

		şekildeğiştirme üst sınırları
Sınırlı Hasar	$\epsilon_c^{(SH)} = 0.0025;$	$\epsilon_s^{(SH)} = 0.0075$
Kontollu Hasar	$\epsilon_c^{(KH)} = 0.75\epsilon_c^{(G\ddot{O})}$	$\epsilon_s^{(KH)} = 0.75\epsilon_s^{(G\ddot{O})}$
Göçmenin önlenmesi	$\epsilon_c^{(G\ddot{O})} = 0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018$	$\epsilon_c^{(G\ddot{O})} = 0.4\epsilon_{su}$

Burada;  $\omega_{we}$  etkin sargı donatısının mekanik donatı oranı'nı göstermekte olup Denklem 1 ile elde edilir.

$$\omega_{we} = \alpha_{se} \rho_{sh, \min} \frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \quad (1)$$

Denklem 1'de yer alan  $\alpha_{se}$  sargı donatısı etkinlik katsayısı'nı,  $\rho_{sh, \min}$  dikdörtgen kesitte iki yatay doğrultuda hacimsel enine donatı oranının küçük olanını,  $f_{ywe}$  enine donatının ortalama (beklenen) akma dayanımı olup donatı sınıfına bağlı olarak Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Ortalama(beklenen) malzeme dayanımları (TBDY,2018)

Beton	$f_{ce} = 1.3f_{ck}$
Donatı çeliği	$f_{ye} = 1.2f_{yk}$
Yapı çeliği (S235)	$f_{ye} = 1.5f_{yk}$
Yapı çeliği (S275)	$f_{ye} = 1.3f_{yk}$
Yapı çeliği (S355)	$f_{ye} = 1.1f_{yk}$
Yapı çeliği (S460)	$f_{ye} = 1.1f_{yk}$

$$\alpha_{se} = \left( \frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o} \right) \left( 1 - \frac{s}{2b_o} \right) \left( 1 - \frac{s}{2h_o} \right); \rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{b_k s} \quad (2)$$

Denklem 2'de  $A_{sh}$  ve  $\rho_{sh}$  göz önüne alınan doğrultuda enine donatının alanını ve hacimsel oranını,  $b_k$  dik doğrultudaki çekirdek boyutunu (en dıştaki enine donatı eksenleri arasındaki uzaklık),  $s$  enine donatı aralığını,  $b_o$  ve  $h_o$  sargı donatısı eksenlerinden ölçülen sargılı beton boyutlarını,  $a_i$  bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenler arasındaki uzaklığı göstermektedir.

Burada  $\epsilon_{su}$  ise çekme dayanımına karşı gelen birim uzamayı göstermekte olup donatı sınıfına bağlı olarak değerler Tablo 4'de verilmiştir.

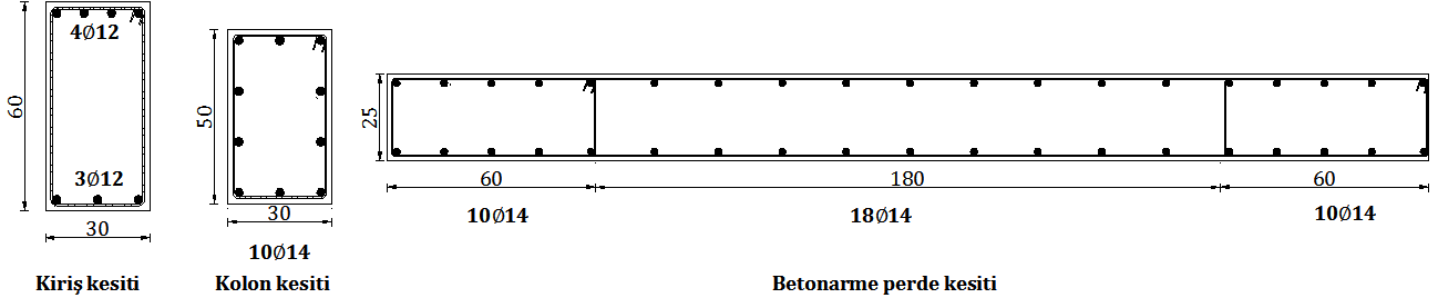
Tablo 4. Donatı çeliklerine ait bilgiler (TBDY,2018)

Kalite	$f_{sy}(Mpa)$	$\epsilon_{sy}$	$\epsilon_{sh}$	$\epsilon_{su}$	$f_{su}/f_{sy}$
S220	220	0.0011	0.011	0.12	1.2
S420	420	0.0021	0.008	0.008	1.15-1.35
B420C	420	0.0021	0.008	0.008	1.15-1.35
B500C	500	0.0025	0.008	0.008	1.15-1.35

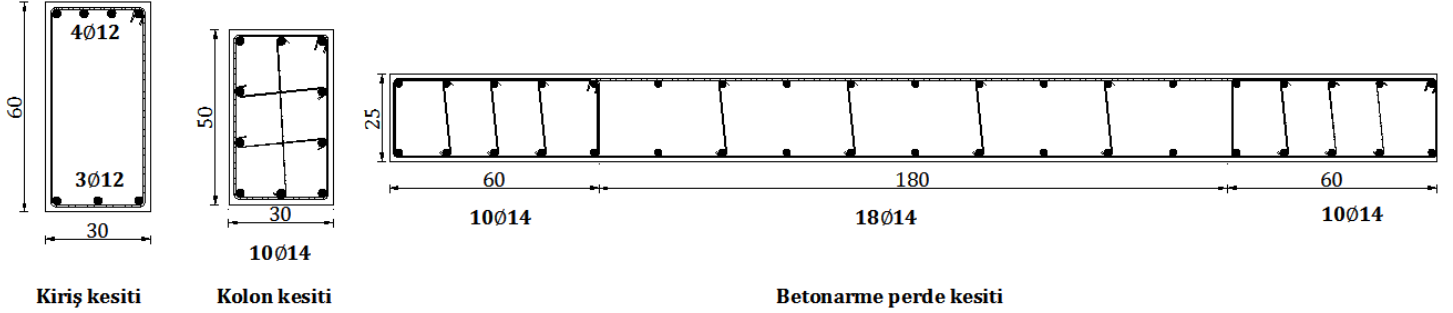
### 2.3. Kesit ve Malzemenin Belirlenmesi

Çalışma kapsamında DBYBHY(2007) ve TBDY(2018) yönetmeliklerini kesit hasar sınırları açısından kıyaslamak için birer adet kiriş, kolon ve betonarme perde kesiti seçilmiştir. Yönetmeliklerin kıyaslamasında mevcut betonarme binaların taşıyıcı sistem elemanlarını yansıtması amacıyla düşük dayanımlı ve yeni yapılacak yapıları yansıtması amacıyla iyi dayanımlı olmak üzere iki tip malzeme grubu seçilmiştir. Düşük dayanımlı malzeme grubunda; beton sınıfı C10, donatı sınıfı S220, mesnetlerde 250 mm aralıkta etriye sıklaştırması ve çiroz olmama durumu, iyi dayanımlı malzeme grubunda ise beton sınıfı C25, donatı sınıfı S420, mesnetlerde 10 mm aralıkta etriye sıklaştırması ve yeterli miktarda çiroz olması durumu seçilmiştir. Kolon kesitlerinin donatı oranı; DBYBHY (2007) ve TBDY (2018)'de verilen minimum donatı oranı olan %1 olarak seçilmiştir. Betonarme perdeler donatı oranı ise yine DBYBHY (2007) ve TBDY (2018)'de verilen minimum donatı oranı kullanılarak seçilmiştir. Bunun için uç kısımların her birinde %0.2, gövdeye %0.25 oranında donatı yerleştirilmiştir. Düşük ve iyi dayanımlı malzeme grupları için belirlenen betonarme kesitler Şekil 3'te verilmiştir.





Şekil 3.a. Düşük dayanımlı malzeme durumu için kullanılan kesitler



Şekil 3.b. İyi dayanımlı malzeme durumu için kullanılan kesitler

#### 2.4. Kesit Hasar Sınırlarının Elde Edilmesi

Çalışma kapsamında, Tablo 1 ve Tablo 2’de tanımlanan sınırlar kullanılarak her bir kesitin iki farklı malzeme durumu için birim şekildeğiştirme üst sınırları hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5.a. Kiriş kesitinin beton ve donatı için elde edilen şekildeğiştirme üst sınırları

Yönetmelik	Kesit hasar sınırı	Düşük dayanımlı malzeme		İyi dayanımlı malzeme	
		Beton şekildeğiştirme üst sınırları	Donatı çeliği Şekildeğiştirme üst sınırları	Beton şekildeğiştirme üst sınırları	Donatı çeliği Şekildeğiştirme üst sınırları
DBYBHY(2007)	MN	0.0035	0.01	0.0035	0.01
	GV	0.0075	0.04	0.0135	0.04
	GÇ	0.0096	0.06	0.018	0.06
TBDY(2018)	SH	0.0025	0.0075	0.0025	0.0075
	KH	0.0037	0.0360	0.0045	0.0240
	GÖ	0.0049	0.0480	0.0061	0.0320

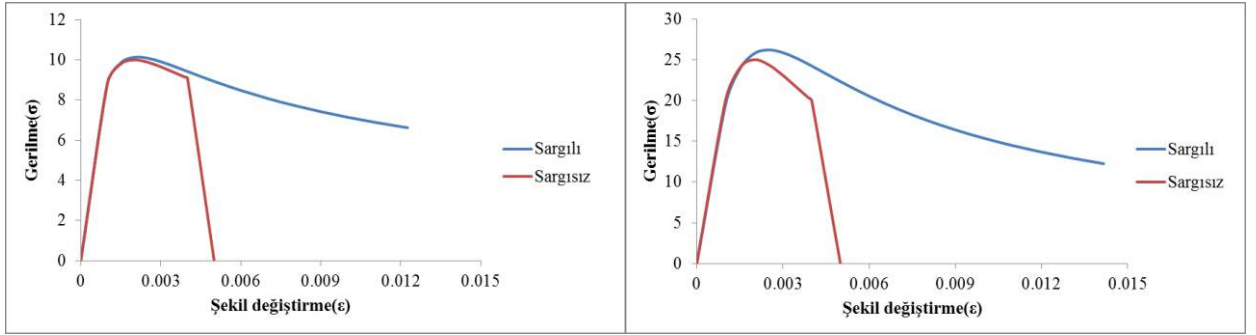
Tablo5.b. Kolon kesitinin beton ve donatı için elde edilen şekildeğiştirme üst sınırları

Yönetmelik	Kesit hasar sınırı	Düşük dayanımlı malzeme		İyi dayanımlı malzeme	
		Beton şekildeğiştirme üst sınırları	Donatı çeliği Şekildeğiştirme üst sınırları	Beton şekildeğiştirme üst sınırları	Donatı çeliği Şekildeğiştirme üst sınırları
DBYBHY(2007)	MN	0.0035	0.01	0.0035	0.01
	GV	0.0059	0.04	0.0135	0.04
	GÇ	0.0073	0.06	0.0180	0.06
TBDY(2018)	SH	0.0025	0.0075	0.0025	0.0075
	KH	0.0040	0.0360	0.0083	0.0240
	GÖ	0.0053	0.0480	0.0111	0.0320

Tablo5.c. Betonarme perde kesitinin beton ve donatı için elde edilen şekildeğiştirme üst sınırları

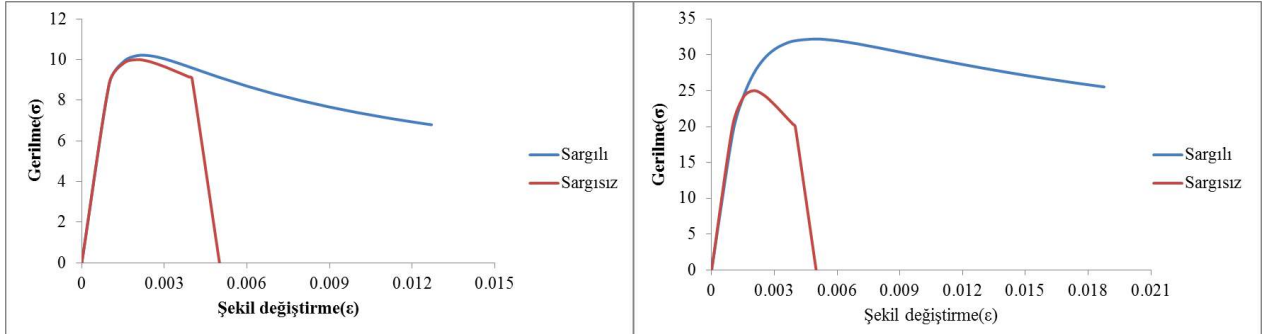
Yönetmelik	Kesit hasar sınırı	Düşük dayanımlı malzeme		İyi dayanımlı malzeme	
		Beton şekildeğiştirme üst sınırları	Donatı çeliği Şekildeğiştirme üst sınırları	Beton şekildeğiştirme üst sınırları	Donatı çeliği Şekildeğiştirme üst sınırları
DBYBHY(2007)	MN	0.0035	0.01	0.0035	0.01
	GV	0.0068	0.04	0.0135	0.04
	GÇ	0.0086	0.06	0.0180	0.06
TBDY(2018)	SH	0.0025	0.0075	0.0025	0.0075
	KH	0.0026	0.0360	0.0066	0.0240
	GÖ	0.0035	0.0480	0.0088	0.0320

Kesitlerin her iki malzeme durumu için beton ve donatı şekildeğiştirme üst sınırları belirlendikten sonra kesit hasar sınırları belirlenmiştir. Bunun için kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirilmesi 0.0001 değerinden başlanmış ve kuvvet dengesinden yararlanarak bu birim şekil değiştirme anındaki donatı şekil değiştirmeleri hesaplanmıştır. Beton ve donatıdan şekildeğiştirme üst sınır değerine önce ulaşan kesitin hasarını ve eğrilik değerini belirlemiştir. Tüm bu işlemler için Excel'de bir program yazılmıştır. Programda Mander sargılı ve sargısız gerilme şekil değiştirme diyagramları kullanılmıştır. Kullanılan kiriş, kolon ve betonarme perde kesitlerinin Mander gerilme şekil değiştirme grafikleri Şekil 4'de verilmiştir..



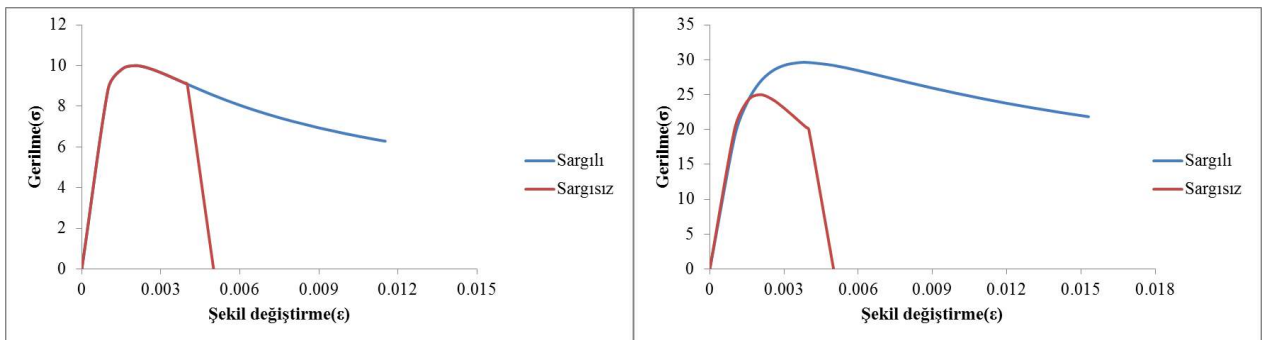
(a) Düşük dayanımlı kiriş kesiti

(b) İyi dayanımlı kiriş kesiti



(c) Düşük dayanımlı kolon kesiti

(d) İyi dayanımlı kolon kesiti



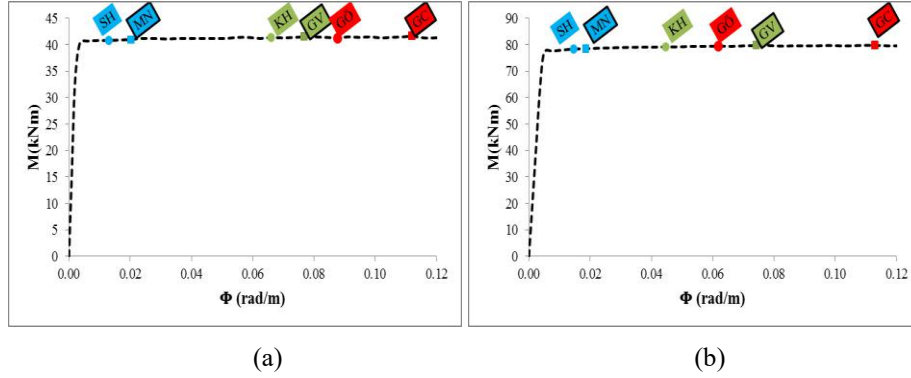
(e) Düşük dayanımlı betonarme perde kesiti

(f) İyi dayanımlı betonarme perde kesiti

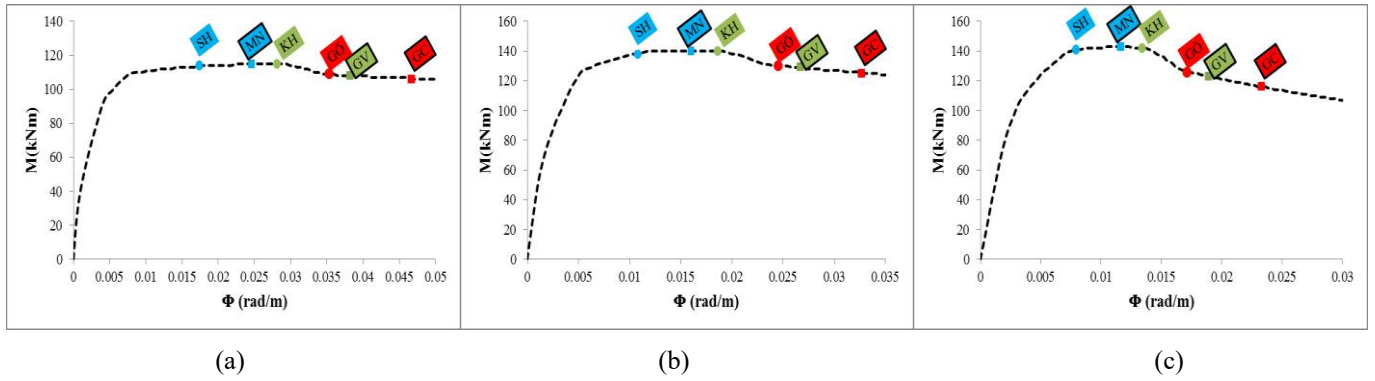
Şekil 4. Kesitlerin Mander gerilme şekil değiştirme grafikleri

Düşük dayanımlı kesitlere bakıldığında (Şekil 4.a- Şekil 4.c-şekil 4.e), etriye aralığının çok seyrek olması ve çiroz kullanılmamış olması sargılı ve sargısız Mander gerilme şekil değiştirme grafiklerinin maksimum gerilme değerlerinin aynı olmasına sebep olduğu görülmektedir.

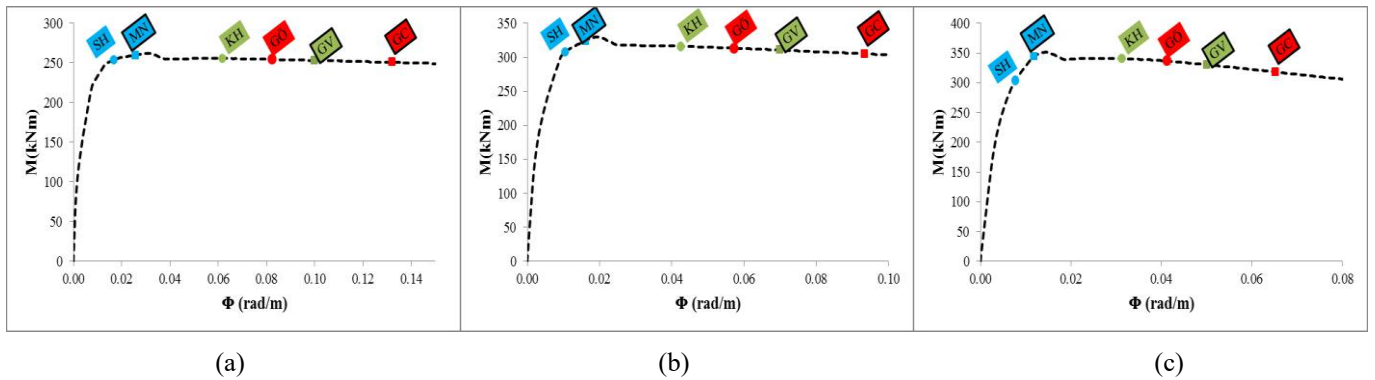
DBYBHY (2007) ve TBDY (2018) deprem yönetmeliklerine göre belirlenen hasar sınırları iç kuvvet-şekil değiştirme grafiği üzerinde gösterilmiş ve iki yönetmelik daha belirgin bir şekilde kıyaslanabilmiştir. Kirişlerin moment eğrilik grafikleri eksenel yük seviyesi sıfır alınarak elde edilmiştir. Kolon ve betonarme perde kesitlerinde ise kesite ait eksenel yük/kesitin eksenel yük taşıma kapasitesi ( $N/N_{or}$ ) oranı; 0.25, 0.5, 0.75 olmak üzere 3 farklı eksenel yük seviyesi için moment eğrilik grafikleri elde edilmiştir. Eksenel yük seviyelerinin her biri her iki farklı malzeme durumu için çözümlendiğinden toplamda 14 adet moment eğrilik grafiği elde edilmiştir. Kiriş, kolon ve betonarme perde kesitlerinin her iki malzeme durumu için elde edilen kesit hasar sınırlarının moment eğrilik grafikleri üzerinde gösterimi (Şekil 5-Şekil 9)'de verilmiştir. Grafiklerde, iki yönetmelikte birbirine tekabül eden sınırlar aynı renk ile gösterilmiştir. Koyu dikdörtgen çerçeveli sınırlar DBYBHY (2007)'e göre elde edilen sınırlardır.



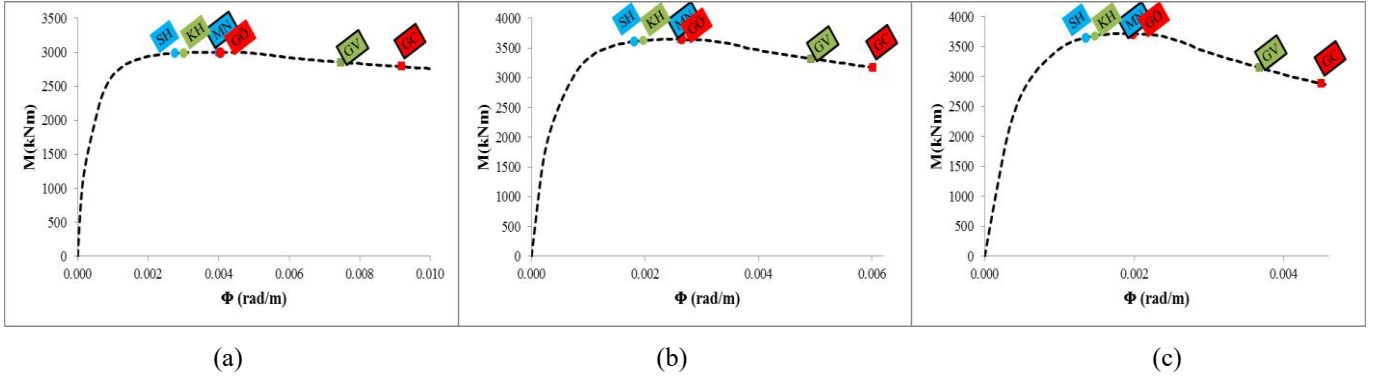
Şekil 5. Kiriş kesitinin düşük(a) ve iyi(b) dayanımlı malzeme durumları için moment eğrilik grafikleri ve kesit hasar sınırları



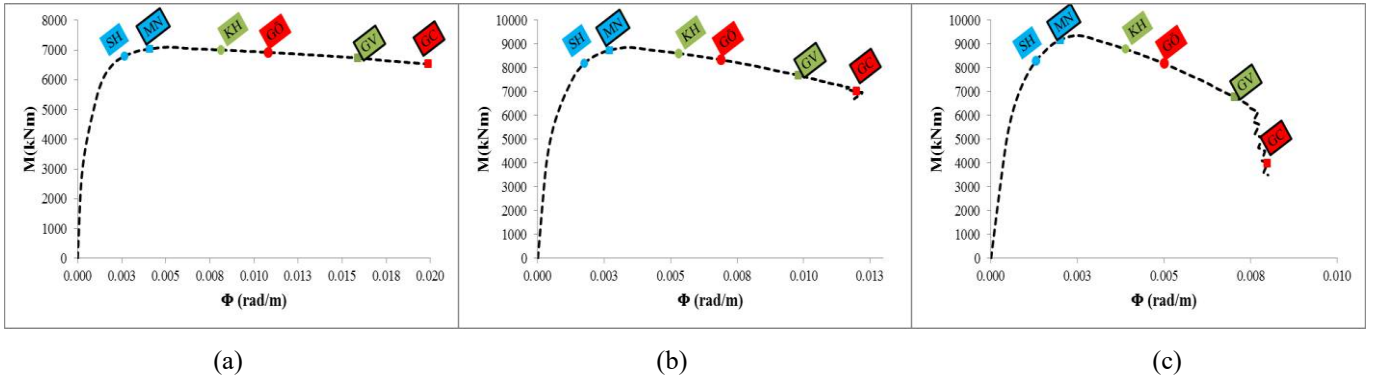
Şekil 6. Düşük dayanımlı kolon kesitinin  $N/N_{or}:0.25$ (a),  $N/N_{or}:0.5$ (b),  $N/N_{or}:0.75$ (c) durumları için moment eğrilik grafikleri ve kesit hasar sınırları



Şekil 7. İyi dayanımlı kolon kesitinin  $N/N_{or}:0.25$ (a),  $N/N_{or}:0.5$ (b),  $N/N_{or}:0.75$ (c) durumları için moment eğrilik grafikleri ve kesit hasar sınırları



Şekil 8. Düşük dayanımlı betonarme perde kesitinin  $N/N_{or}:0.25(a)$ ,  $N/N_{or}:0.5(b)$ ,  $N/N_{or}:0.75(c)$  durumları için moment eğrilik grafikleri ve kesit hasar sınırları



Şekil 9. İyi dayanımlı betonarme perde kesitinin  $N/N_{or}:0.25(a)$ ,  $N/N_{or}:0.5(b)$ ,  $N/N_{or}:0.75(c)$  durumları için moment eğrilik grafikleri ve kesit hasar sınırları

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY,2007) ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) kesit hasar sınırları açısından kıyaslanmıştır. Bunun için birer adet kiriş, kolon ve betonarme perde kesiti ile düşük ve iyi dayanımlı olmak üzere iki malzeme grubu seçilmiştir. Kiriş kesitinin eksenel yük seviyesi sıfır alınmış, kolon ve betonarme perde kesitleri için 3 farklı eksenel yük seviyesi belirlenmiştir. Eksenel yük seviyelerinin her biri her iki farklı malzeme durumunda çözümlenerek toplamda 14 adet kesitin, DBYBHY (2007) ve TBDY (2018) deprem yönetmeliklerine göre kesit hasar seviyesine tekabül eden şekil değiştirme üst sınır değerleri elde edilmiştir. Elde edilen şekil değiştirme üst sınır değerlerine bağlı olarak kesit hasar seviyeleri hazırlanan bir excel yazılımı ile belirlenmiş ve moment eğrilik grafikleri üzerinde gösterilmiştir. Her iki yönetmeliğe göre belirlenen sonuçlar birbiri ile kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda;

- 1) DBYBHY (2007)'de donatı çeliği şekil değiştirme üst sınırları donatı sınıfından bağımsız iken TBDY (2018)'de donatının maksimum uzama şekil değiştirme değerine ( $\epsilon_{su}$ ) bağlı olarak donatı çeliği şekil değiştirme üst sınırları değişmektedir.
- 2) Mevcut yapılardaki malzeme durumunu yansıtması amacıyla belirlenen düşük dayanımlı malzemede yeterli miktarda enine donatı bulunmadığından  $\rho_s/\rho_{sm}$  değeri düşük oranda olmakta dolayısı ile beton şekil değiştirme üst sınırları da düşük değerlerde olmaktadır. DBYBHY (2007)'de donatı çeliği şekil değiştirme üst sınırları enine donatıdan bağımsız sabit değerler olduğundan beton donatıdan önce şekil değiştirme üst sınır değerine ulaşmaktadır. Böylece düşük dayanımlı malzeme kesitin hasarını ve eğrilik değerini beton belirlemiş olmaktadır. Benzer durum TBDY (2018)'e göre kesit hasarlarının belirlenmesinde de görülmektedir. TBDY (2018)'de beton şekil değiştirme üst sınır değerleri kesitteki beton sınıfı ve sargılama durumu düşük olması durumunda düşük değerlerde çıkmakta, donatı çeliği şekil değiştirme üst sınır değerleri de sargılama durumundan bağımsız sabit değerler olduğundan düşük dayanımlı malzeme kesitin hasarını ve eğrilik değerini beton belirlemiş olmaktadır.
- 3) Her iki yönetmelikte de; İyi dayanımlı malzeme durumunda kesit hasar sınırları birbirinden daha keskin bir şekilde ayrılabilir iken, düşük dayanımlı malzeme durumunda kesit hasar sınırları birbirine yakın değerler çıkmaktadır.
- 4) Düşük dayanımlı malzemeye sahip kiriş kesiti hariç diğer 13 durumun tamamında DBYBHY (2007)'e göre belirlenen Güvenlik Sınırı(GV), TBDY (2018)'deki tüm hasar sınırlardan sonra meydana gelmiştir.
- 5) Düşük malzemeye sahip betonarme perde kesitinde, TBDY (2018)'e göre belirlenen göçme öncesi (GÖ) hasar seviyesi eğrilik değeri DBYBHY (2007)'e göre belirlenen minimum hasar (MN) hasar seviyesine tekabül ettiği görülmektedir.
- 6) Her iki yönetmelikte de; Eksenel yük seviyesi arttıkça aynı kesitin aynı hasar sınırına tekabül eden eğrilik değeri küçülmektedir. Dolayısı ile eksenel yük seviyesi arttıkça düşey taşıyıcı elemandan hasar daha düşük şekil değiştirme değerinde oluşacağı söylenebilir.

- 7) İyi ve düşük dayanımlı malzeme gruplarının ikisinde de TBDY (2018)'ne göre belirlenen kesit hasar sınırları, DBYBHY (2007)' göre belirlenen kesit hasar sınırlarından daha küçük eğrilik değerlerinde meydana gelmektedir. Dolayısı ile TBDY (2018), deprem güvenliği açısından DBYBHY (2007)'e göre daha güvenli tarafta kalıyor denilebilir.
- 8) Yapılan çalışma sonucu elde edilen sonuçlar incelendiğinde, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik ile Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nin kesit hasar sınırları değerlerinde önemli miktarda farklı sonuçların olduğu gözlenmiş olup bu sonuç binanın performans seviyesini değiştirebilecek niteliktedir. Fakat iki yönetmelik arasında bina deprem güvenliğinin belirlemesi konusunda tek farklılık kesir hasar sınırları değildir. Söz konusu diğer farklılıkların da göz önüne alınması ile yapılacak yeni çalışmalar ile iki yönetmelik bina deprem güvenliği belirlemesi konusundaki daha ayrıntılı bir şekilde kıyaslanabilecektir. Bu bağlamda bu çalışma yapılacak diğer çalışmalara ışık tutacaktır.

## **Kaynakça**

- DBYBHY. (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Ankara: Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.
- Dilmaç, H., Ulutaş, H., Tekeli, H., ve Demir, F. (2018). An Evaluation on Seismic Performance of Existing Reinforced Concrete Buildings in Turkey. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(Ek Sayı 1): 224-237
- Elci, H. ve Goker, K. A. (2018). Deprem Yönetmeliklerinin (DBYBHY 2007 ve TBDY 2018) Betonarme Kolonların Deprem Performansı Açısından Karşılaştırılması. *International Journal of Scientific and Technological Research*, 4(6), 9-21.
- Eurocode 8 (2003). Design of Structures for Earthquake Resistance. Brussels: Comité Européen Normalisation.
- Ersoy, U. ve Özcebe G. (1998). Sarılmış Betonarme Kesitlerde Moment-Eğrilik İlişkisi Analitik Bir İnceleme. *Teknik Dergi*, 9(4), 1998-1827.
- FEMA 356 (1997). Prestandard and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings. Washington: Federal Emergency Management Agency.
- Işıltan, Ö. (2010). Yüksek Lisans Tezi. Betonarme Kolonlar için TDY 2007, EUROCODE 8 ve FEMA 356 ile Yapılan Performans Değerlendirmelerinin Deney Sonuçlarıyla Karşılaştırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Mander, J.B., Priestley, M.J.N., and Park, R.(1988). Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete, *Journal of Structural Division*, 114(8), 1804-1826
- Nemutlu, Ö. S., ve Sarı, A. (2018). International Engineering and Natural Sciences Conference. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 ile Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'in Karşılaştırılması, (s. 568-576). Diyarbakır Türkiye.
- Öztürk, T. (2005). İMO İstanbul Şubesi 2005 İlkbahar-Yaz Dönemi Mesleki Eğitim Kursları. Betonarme Binalarda Deprem Perdelerinin Yerleşimi ve Tasarımı
- TBDY. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Ankara: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.
- Ulutaş, H., Tekeli, H., ve Demir, F. (2015). International Burdur Earthquake and Environment Symposium. Kesit Hasar Sınırlarının Belirlenmesinde Sargılama Durumunun Etkisi, (s. 252-259). Burdur Türkiye.
- Yaman, S., Tekeli, H. & Demir, F. (2019). Betonarme Binalarda Perde Yeri Değişiminin Bina Performansına Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 194-204.





# Sterol Profile of Some Medicinal and Aromatic Plant Oils: Effect of Silyl Derivatization Process

Erman Beyzi<sup>1</sup>, Selma Büyükkılıç Beyzi<sup>2</sup>, Kevser Karaman<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Erciyes University, Faculty of Agriculture, Department of Field Crops, Kayseri-Turkey (ORCID: 0000-0002-0248-4227)

<sup>2</sup> Erciyes University, Faculty of Agriculture, Department of Animal Science, Kayseri-Turkey (ORCID: 0000-0002-4622-0645)

<sup>3</sup> Erciyes University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Biotechnology, Kayseri-Turkey (ORCID: 0000-0003-0729-6185)

(First received 26 July 2019 and in final form 11 September 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.597071)

**ATIF/REFERENCE:** Beyzi, E., Büyükkılıç, S.B., & Karaman, K. (2019). Sterol profile of some medicinal and aromatic plant oils: Effect of silyl derivatization process. *European Journal of Science and Technology*, (17), 360-365.

## Abstract

In this study, sterol composition (brassicasterol, campesterol, stigmasterol,  $\beta$ -Sitosterol and  $\beta$ -sitostanol) of the crude oils extracted from different parts (seed or fruit) of some medicinal and aromatic plants (fenugreek, fennel, coriander, black cumin and anise) was determined and two different methods used in sample preparation process were compared. In the first method, silyl derivatization process was applied and in the other method derivatizing agents were not used. It was determined that the oil levels of the samples ranged between 4.27 - 4.63% for fenugreek, 8.60 - 9.10% for fennel, 9.57 - 10.70% for coriander, 22.77 - 23.50% for black cumin and 11.10 - 11.50% for anise. In both methods,  $\beta$ - sitosterol was the major sterol compound for all oils. It was observed that lower sterol concentrations were recorded for the method performed using derivatizing agents. Brassicasterol was identified only in anise and fennel oils in the method performed without the derivatizing agents, while it was detected in only black cumin oil in the other method. According to literature, it was concluded that the derivatization process was more compatible.

**Keywords:** Medicinal and aromatic plants, crude oil, sterols, silyl derivatization

## Bazı Tıbbi Ve Aromatik Bitki Yağlarının Sterol Profili Üzerine Silyl Türevlendirmenin Etkisi

### Öz

Bu çalışmada, bazı tıbbi ve aromatik bitkilerin (çemen, rezene, kişniş, çörek otu ve anason) sterol kompozisyonu (brassicasterol, campesterol, stigmasterol,  $\beta$ -Sitosterol and  $\beta$ -sitostanol) belirlenmiş ve numune hazırlama işleminde kullanılan iki farklı yöntem karşılaştırılmıştır. İlk yöntemde silyl türevlendirme işlemi uygulanmış ve diğer yöntemde türevlendirme maddeleri kullanılmamıştır. Numunelerin ham yağ oranlarının çemen için % 4,27 - 4,63, rezene için % 8,60 - 9,10, kişniş için % 9,57 - 10,70, çörek otu için % 22,77 - 23,50 ve anason için % 11,10 - 11,50 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Her iki yöntemde de, sitosterol, tüm yağlar için major sterol bileşiği olarak tespit edilmiştir. Türevlendirme maddeleri kullanılarak gerçekleştirilen yöntem için daha düşük sterol konsantrasyonlarının kaydedildiği görülmüştür. Brassicasterol, türevlendirme ajanları olmadan gerçekleştirilen yöntemde sadece anason ve rezene yağlarında tanımlanırken, diğer yöntemde sadece çörek otu yağında tespit edilmiştir. Literatüre göre, türevlendirme işleminin daha uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Tıbbi ve aromatik bitki, ham yağ, steroller, silyl türevlendirme

\* Corresponding Author: Erciyes University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Biotechnology, Kayseri-Turkey, ORCID: 0000-0003-0729-6185, [kevserkaraman@erciyes.edu.tr](mailto:kevserkaraman@erciyes.edu.tr)

## **1. Introduction**

Plant sterols, also known as phytosterols include over 250 different sterols and related compounds in various plants. The most common members are sitosterol, stigmasterol and campesterol (Piironen et al., 2000). Phytosterols are stable components of the plant cell membranes, having stabilizing effects on phospholipids bilayer, just like cholesterol in animal cell membranes. (Choudhary and Tran, 2011) and they are able to compete with cholesterol due to their structural similarity, which in turn causes a reduced serum cholesterol level (Gao et al., 2017). Recently, a great deal of interest has been given to the importance of phytosterols in the protection from cancer and cardiovascular diseases (Awad and Fink, 2000, Jones and AbuMweis, 2009, Orem et al., 2017; Rideout et al., 2016; Alvarez Sala et al., 2018; Huang et al., 2017). The average daily intake of plant sterols by foods is about 78–500 mg while the recommended daily ingestion was 2 g (Orem et al., 2017). Since foods contain phytosterols in minor levels, their consumption on daily basis would not be enough to supply the dietary requirement. Therefore, its extraction and isolation from oilseeds for fortification of foods would be the best way to gain phytosterols at appropriate dose (Sujith Kumar et al., 2017).

Plant materials contain free and esterified sterols, and sterol glycosides which can be esterified to acylated sterol glycosides (Wojciechowski, 1991). For the analysis of sterols by gas chromatography, derivatization is a prior step improves volatility, sensitivity, separation, peak shape and thermal stability of the analytes. Some authors informed that the injection of free sterols resulted in broader peaks or peak tailing and a lower detector response, accuracy, reproducibility and sensitivity (Poojary and Passamonti, 2016, Li et al., 2001). On the other hand, some authors tried to improve rapid methods for sterol analysis without transformation of sterols into silyl derivatives prior to analysis (Alonso et al., 1997).

Plants are the source for medicinal treatments for thousands of years. Traditional medicine utilizes plants for both their curative and preventive properties (Carović-Stanko et al., 2016). Except from the curative properties, phytosterol composition of the medicinal and aromatic plants is important for fortification of foods and there are limited literature sources about this topic. In this context, the sterol composition was mostly studied for edible seed oils. The main aim of the current study was to determine the sterol composition of the oils extracted from some medicinal and aromatic plants. And also, the effect of derivatization step on the levels of sterols was investigated and compared.

## **2. Material and Method**

### **2.1. Material**

In the present study, the aromatic and medicinal plants namely fenugreek, fennel, coriander, black cumin and anise seeds and fruits were provided from Field Crops Department in Erciyes University. Five analytical sterol standards (Brassicasterol, Campesterol, Stigmasterol,  $\beta$ -Sitosterol and  $\beta$ -Sitostanol, Matreya LLC.) were purchased.

### **2.2. Methods**

#### **2.1.1. Crude oil extraction**

The samples were ground using laboratory type mill and then dried. Crude oils of five different medicinal plants (fenugreek, fennel, anise, coriander, black cumin) were extracted by n-hexane according to the method described in AOAC (1990) using Soxhlet extraction system (VELP, SER 148, Italy). Crude oil content of the samples was calculated according to the mass balance of the samples after extraction.

#### **2.1.2. Crude oil extraction**

In the sample preparation step, sterols were converted with and without silyl derivatives, and the results were compared. For this purpose, the cholesterol standard (5 mg) was mixed with the oil samples (0.5 g) and then, 5 ml of 1 M methanolic KOH solution was added into the oil samples. The samples were left at 70 °C for 30 min, then 1 ml of distilled water and 1 ml of n-hexane were incorporated into the tubes. After centrifugation, the upper phase was collected, and then the same procedures were repeated three times. In this method having no derivatization process, the supernatant was injected directly into the GC device. For silyl derivatization method, 0.2 ml of pyridine and 0.3 ml of BSTFA (N,O-Bis(trimethylsilyl) trifluoroacetamide) were added to the residue after evaporation of the supernatant and then completed by 1 ml of chloroform. The derivatized sterol extracts were then injected into the GC device. The carrier gas was helium (0.5 ml / min) and the injection volume was 0.5 ml. The detector (FID) temperature was 360 °C. Oven schedule: 285 °C - 35 minutes, with a heating rate of 285-310 °C-10 °C / min, 310 °C-10 minutes (Alonso et al., 1997; Kozłowska et al., 2016).

#### **2.1.3. Statistical analysis**

Statistical analysis was conducted using SAS (2000) software. Duncan multiple range test was used for the determination of the significant differences for the samples at the confidence level of 95%.

### 3. Results and Discussion

The crude oil levels of the samples were given in Table 1. The highest crude oil content (23.2%) was determined for black cumin while the lowest content (4.48%) was measured in fenugreek seeds.

Table 1. Crude oil content of the samples

Samples	Plan part	Oil content (%)
Fenugreek	Seed	4.48±0.17 <sup>c</sup>
Fennel	Fruit	8.80±0.21 <sup>d</sup>
Coriander	Fruit	9.94±0.51 <sup>c</sup>
Black cumin	Seed	23.20±0.32 <sup>a</sup>
Anise	Fruit	11.35±0.18 <sup>b</sup>

The superscript small letters show statistically difference (p<0.05)

Two different methods were compared in the sample preparation step for the sterol analysis and the sterol levels determined by the method including silylation agents were shown in Table 2.  $\beta$ -sitosterol was found to be the highest component of sterol in oils. The highest  $\beta$ -sitosterol value was obtained from the coriander seed oil (1284.95 mg / 100 g). Brassicasterol was detected only in anise and fennel seed oils as 71.68 and 55 mg/100 g, respectively while it was not observed for the other oils. The total sterol composition was calculated as 1958.64 mg / 100 g in fenugreek oil, while it was 1156.64 in anise, 810.06 in black cumin, 1442.66 in coriander and 950.91 mg / 100g in fennel.

Table 2. Sterol composition (mg / 100g) of the samples analysed by the method having no silylation agents

Sterols	Fenugreek	Anise	Black cumin	Coriander	Fennel
Brassicasterol	-	71.68±0.59 <sup>a</sup>	-	-	55.00±0.99 <sup>b</sup>
Campesterol	331.76±8.02 <sup>a</sup>	145.20±0.39 <sup>d</sup>	139.15±3.91 <sup>e</sup>	240.60±9.67 <sup>b</sup>	190.41±2.95 <sup>c</sup>
Stigmasterol	48.03±0.22 <sup>d</sup>	158.63±3.97 <sup>c</sup>	31.28±0.27 <sup>e</sup>	264.32±16.96 <sup>a</sup>	259.04±7.27 <sup>b</sup>
$\beta$ -Sitosterol	1284.95±42.01 <sup>a</sup>	509.51±14.20 <sup>c</sup>	358.04±12.27 <sup>e</sup>	651.44±29.91 <sup>b</sup>	446.46±13.54 <sup>d</sup>
$\beta$ -Sitostanol	293.91±0.81 <sup>a</sup>	271.52±1.97 <sup>a</sup>	281.59±19.68 <sup>a</sup>	286.31±1.41 <sup>a</sup>	-
<b>Total</b>	<b>1958.64</b>	<b>1156.54</b>	<b>810.06</b>	<b>1442.66</b>	<b>950.91</b>

The superscript small letters in each row show statistically difference (p<0.05)

The sample chromatograms of sterol standards analysed using two different methods were given in Figure 1. A minor change was observed for the retention times of the standards.

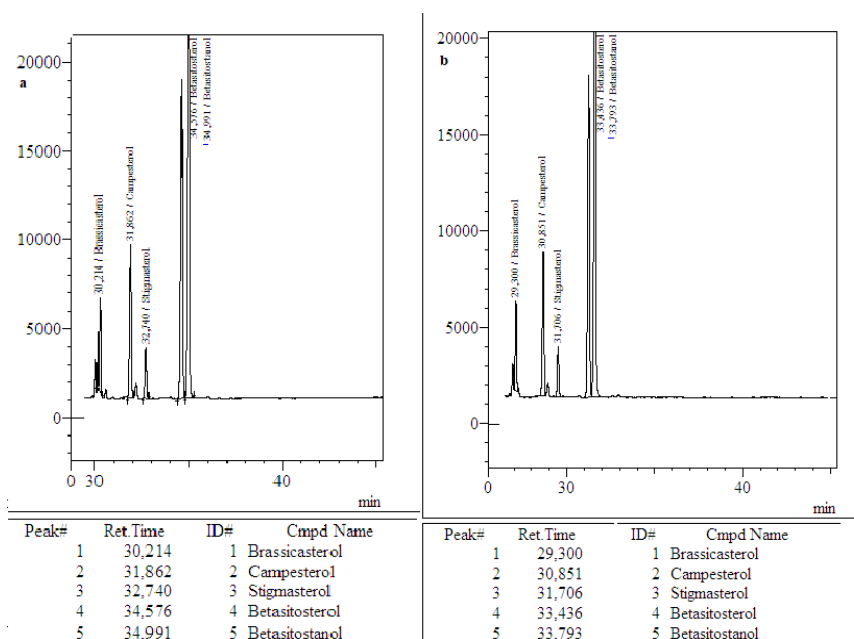


Figure 1. Sample chromatogram of the standards a) with silylation method b) without silylation method

Figure 2 shows the % composition of the sterols detected by the method having no silylation agents. The % composition results obtained for the fenugreek was in accordance with Kiralan et al. (2017), and the same authors reported the beta sitosterol content as in the range of 59.94 to 68.24%. Similarly to our results,  $\beta$ -sitosterol level was found to be in the range of 44.53 to 53.95% by Cheikh Rouhou et al.

(2008). Campesterol values in black cumin were calculated as in the range of 12.09 and 13.76% by same authors while the ratio of campesterol in our study was 17.18%. Jazia Sriti et al. (2011) reported that the  $\beta$ -sitosterol content in coriander was 21.33-21.97 mg/g and these values were higher than the results of our study.

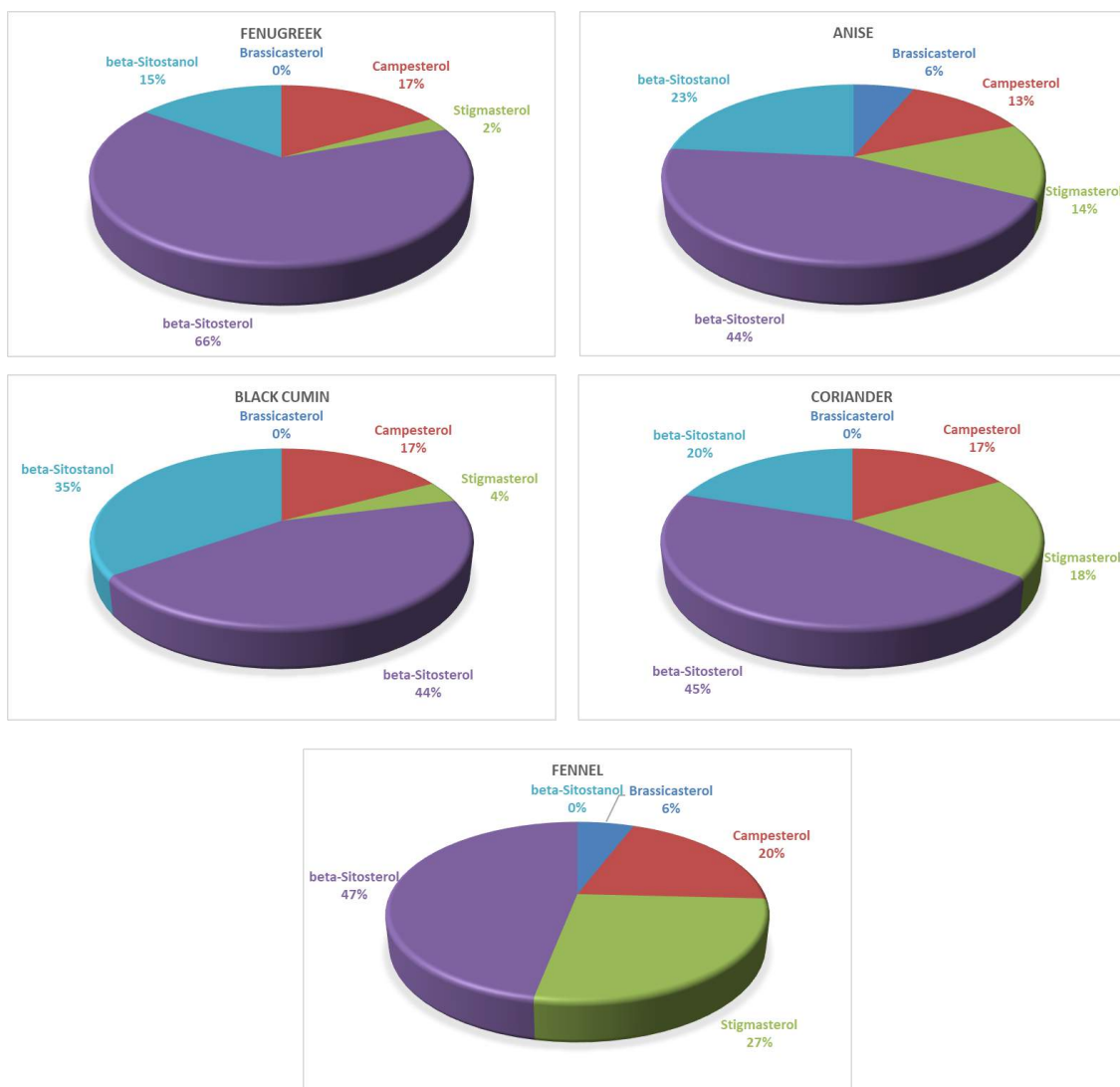


Figure 2. Profile (%) of the sterols determined by the method having no silylation agents

The results of the sterol composition detected by the method having silylation agents were given in Table 3. It could be seen that the highest sterol component was detected as to be  $\beta$ -sitosterol similar to the other method. When compared to the all results, it could be concluded that the lower results were obtained from the method having the silylation agents. Additionally, brassicasterol could be detected in fenugreek in the method having the silylation agents. Kozłowska et al. (2016) did not detect brassicasterol in coriander similar to our results. However, in our study, brassicasterol was identified as 56.01 mg/100g in anise oil, while the same authors could not detect brassicasterol. In another study, the content of  $\beta$ -sitosterol in coriander was found to be 2.31 g/kg and it was found to be more consistent with the results of the sterol composition obtained from the method performed using the silylation agents (Uitterhaegen et al., 2016). Figure 3 shows the % composition of the sterol composition obtained from the method having silylation agents. Kiralan et al. (2017) found the stigmasterol as in the range of 1.08-2.49%, and these values were found to be lower than those of our study. In addition, it could be seen from Table 3, the highest stigmasterol percentage was recorded for fennel oils. In the current study, two different methods were applied to prepare sterol extraction, in one of the method applied, the samples were converted into the silyl derivative and in the other method, there was no silylation agent. According to the literature, it could be said that the silylation process is more compatible. On the other hand, the highest sterol component in the oil samples was determined as to be  $\beta$ -sitosterol. Yang et al. (2018) reviewed the chemical composition and nutritional properties of some edible oils and stated that corn oil and rice bran oil had higher contents of campesterol and total phytosterol with the values of 490.6 mg/100 g and 775.2 mg/100 g, respectively.

Table 3. Sterol composition (mg / 100g) of the samples analysed by the method having silylation agents

Sterols	Fenugreek	Anise	Black cumin	Coriander	Fennel
Brassicasterol	74.33±0.01 <sup>a</sup>	56.01±0.02 <sup>c</sup>	-	-	63.11±13.84 <sup>b</sup>
Campesterol	198.14±1.53 <sup>a</sup>	103.64±0.48 <sup>e</sup>	108.90±0.29 <sup>d</sup>	114.58±0.03 <sup>b</sup>	111.03±0.01 <sup>c</sup>
Stigmasterol	38.63±0.12 <sup>d</sup>	96.56±0.35 <sup>b</sup>	25.66±0.26 <sup>e</sup>	72.77±0.03 <sup>c</sup>	147.71±0.68 <sup>a</sup>
$\beta$ -Sitosterol	660.76±13.99 <sup>a</sup>	304.43±3.50 <sup>b</sup>	263.78±4.20 <sup>d</sup>	266.66±1.03 <sup>d</sup>	291.48±0.26 <sup>c</sup>
$\beta$ -Sitostanol	247.36±1.14 <sup>a</sup>	252.23±7.31 <sup>a</sup>	221.42±1.28 <sup>c</sup>	229.66±1.51 <sup>b</sup>	250.06±4.65 <sup>a</sup>
<b>Total</b>	1219.22	812.86	619.75	683.67	863.39

The superscript small letters in each row show statistically difference ( $p < 0.05$ )

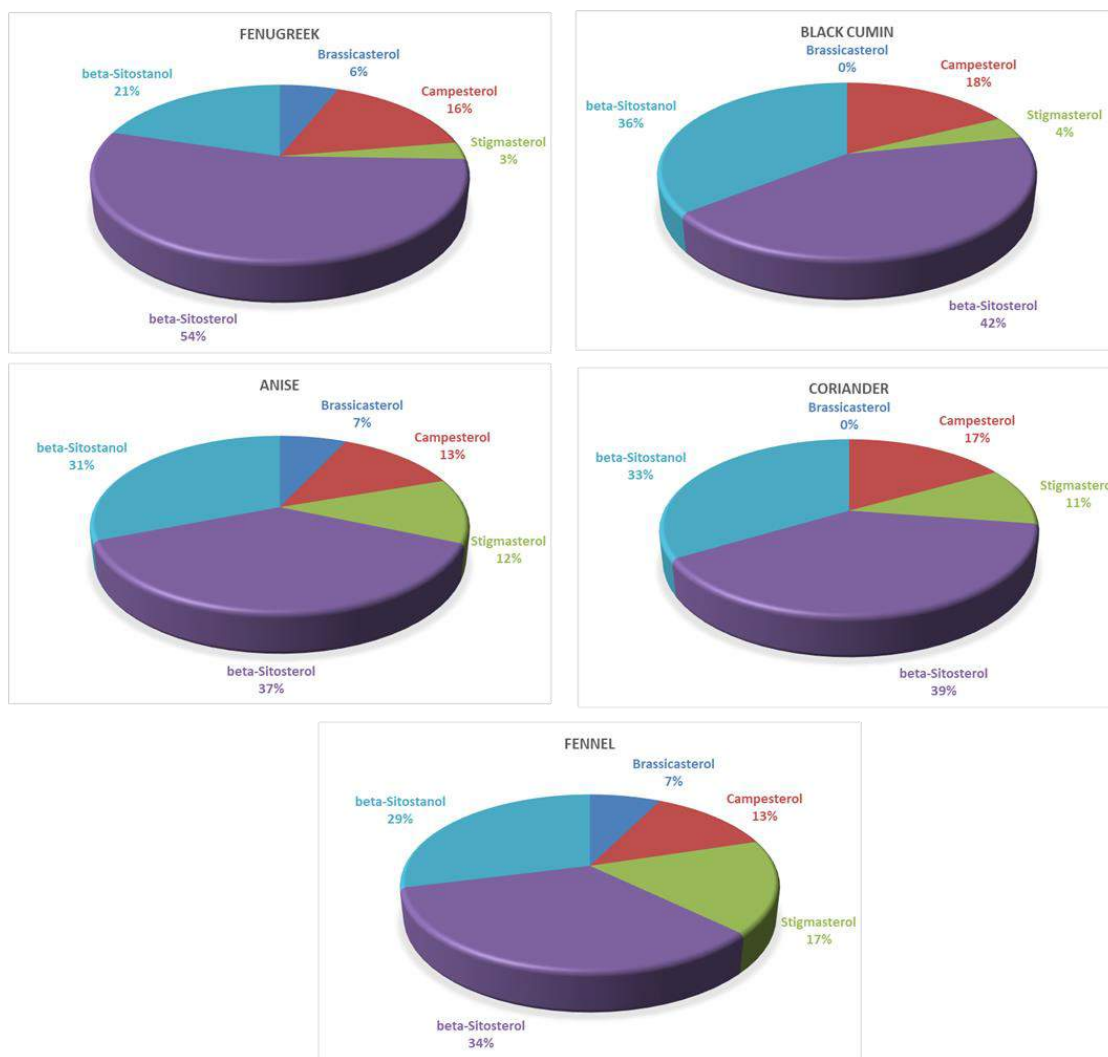


Figure 3. Profile (%) of the sterols determined by the method having silylation agents

#### 4. Conclusions and Recommendations

In our study, especially fenugreek and coriander oils had the superior phytosterol content compared the mentioned results. In addition to that, the high crude oil content of black cumin can provide more benefits in terms of phytosterol content. Plant sterols are minor lipid components of plants, which may have potential health benefits, mainly based in their cholesterol-lowering effect. Plant sterols enriched foods are popular especially LDL-cholesterol-lowering properties nowadays. This study approved that medicinal plants can be used as an enrichment agent not only their medicinal properties but also with their nutritional facts.

#### 4. Acknowledgement

This work was supported by Erciyes University Scientific Research Projects Coordination Unit with project code of FHD-2017-7086. We would like to thank for the support.



## References

- Alonso L., Fontecha J., Lozada L. and Juárez M. (1997). Determination of mixtures in vegetable oils and milk fat by analysis of sterol fraction by Gas Chromatography, *Journal of American Oil Chemist's Society*, 74(2), 131-135.
- Alvarez-Sala, A., Attanzio, A., Tesoriere, L., Garcia-Llatas, G., Barberá, R. and Cilla, A. (2018). Apoptotic effect of a phytosterol-ingredient and its main phytosterol ( $\beta$ -sitosterol) in human cancer cell lines, *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 70(3), 323-334.
- Awad A.B., and Fink, C.S. (2000). Phytosterols as anticancer dietary components: Evidence and mechanism of action, *Journal of Nutrition*, 130, 2127–2130.
- Cheikh-Rouhou, S., Besbes, S., Hentati, B., Blecker, C., Deroanne, C., Attia, H. (2007). *Nigella sativa* L.: Chemical composition and physicochemical characteristics of lipid fraction, *Food Chemistry*, 101, 673–681.
- Choudhary, S.P. and Tran, L.S. (2011). Phytosterols: perspectives in human nutrition and clinical therapy, *Current Medicinal Chemistry*, 18(29), 4557-4567.
- Klaudija, C.S., Marko, P., Grdiša, M., Jasna, P., Dalibor, B., Mirjana, H.C., Zlatko, Š. (2016). Medicinal plants of the family Lamiaceae as functional foods – A review, *Czech Journal of Food Sciences*, 34 (5), 377-390.
- Gao, F., Wang, G., Wang, L. and Guo, N. (2017). Phytosterol nutritional supplement improves pregnancy and neonatal complications of gestational diabetes mellitus in a double-blind and placebo-controlled clinical study. *Food Function*, 8, 424-428.
- Huang, J., Xu, M., Fang, Y., Lu, M., Pan, Z., Huang, W., Chen, Y.M. and Zhang, C. (2017). Association between phytosterol intake and colorectal cancer risk: A case-control study, *British Journal of Nutrition*, 117(6), 839-850.
- Sriti, J., Talou, T., Msaada, K., and Marzouk, B. (2011). Comparative analysis of fatty acid, sterol and tocol composition of Tunisian and Canadian Coriander (*Coriandrum sativum* L.) fruit, *Analytical Chemistry Letters*, 1(5-6), 375-383.
- Jones P.J.H. and AbuMweis S.S. (2009). Phytosterols as functional food ingredients: linkages to cardiovascular disease and cancer, *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 12,147–151.
- Kıralan, M., Yorulmaz, A., Çalkoğlu, E. and Bayrak, A. (2017). Çemen otu (*Trigonella foenum-graecum* L.) tohumunun yağ asitleri ve sterol bileşimi, *Derim* 34(2),138-141.
- Kozłowska, M., Gruczyńska, E., Ścibisz, I. and Rudzińska M. (2016). Fatty acids and sterols composition, and antioxidant activity of oils extracted from plant seeds, *Food Chemistry*, 213, 450-456.
- Sujith Kumar, M.S., Mawlong, I. and Singh, D. (2017). Phytosterol recovery from oilseeds: Recent advances, *Journal of Food Process Engineer*, 40 (3), e12466.
- Li, D., Park, J. and Oh, J. R. (2001). Silyl derivatization of alkylphenols, chlorophenols, and bisphenol A for simultaneous GC/MS determination, *Analytical Chemistry*, 73(13), 3089-3095.
- Orem, A., Alasalvar, C., Kural, B. V., Yaman, S., Orem, C., Karadag, A., ... & Zawistowski, J. (2017). Cardio-protective effects of phytosterol-enriched functional black tea in mild hypercholesterolemia subjects, *Journal of Functional Foods*, 31, 311-319.
- Piironen, V., Toivo, J. and Lampi, A.M. (2000). Natural sources of dietary plant sterols, *Journal of Food Composition and Analysis*, 13, 619-624.
- Poojary M.M. and Passamonti P. (2016). Improved conventional and microwave-assisted silylation protocols for simultaneous gas chromatographic determination of tocopherols and sterols: Method development and multi-response optimization, *Journal of Chromatography A*, 9, 88-104.
- SAS (2000). SAS Institute Inc.: SAS Version 8.02: SAS/STAT Software: changes and enhancements through Release 8.02. Cary, NC, SAS Institute Inc, USA.
- Rideout, T.C., Carrier, B., Wen, S., Raslawsky, A., Browne, R.W. and Harding, S.V. (2016). Complementary cholesterol-lowering response of a phytosterol/ $\alpha$ -lipoic acid combination in obese Zucker rats, *Journal of Dietary Supplements*, 13, 283-299.
- Uitterhaegen, E., Sampaio, K.A., Delbeke, E.I.P., De Greyt, W., Cerny, M., Evon, P., Merah, O., Talou, T. and Stevens, C.V. (2016). Characterization of French coriander oil as source of petroselinic acid, *Molecules*, 2, 1202.
- Yang, R., Zhang, L., Li, P., Yu, L., Mao, J., Wang, X. and Zhang, Q. (2018). A review of chemical composition and nutritional properties of minor vegetable oils in China, *Trends in Food Science & Technology*, 74, 26-32,
- Wojciechowski, Z. A. (1991) Biochemistry of phytosterol conjugates, in *Physiology and Biochemistry of Sterols* (Patterson, G.W. and Nes, W.D., eds), pp. 361–395, American Oil Chemists' Society.



## Y32 Bojisinin Yapısal Analizleri, Bölüm 1: Statik Analizler

Oğuzhan Konez<sup>1</sup>, Muzaffer Metin<sup>2\*</sup>, Özgür Demir<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9724-3433)

<sup>3</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0865-0684)

(İlk Geliş Tarihi 9 Ağustos 2019 ve Kabul Tarihi 27 Ekim 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.604855)

**ATIF/REFERENCE:** Konez, O., Metin, M & Demir, Ö. (2019). Y32 Bojisinin Yapısal Analizleri, Bölüm 1: Statik Analizler. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 366-387.

### Öz

Bojiler, demiryollarında kullanılan araçları taşımaya yarayan mekanik sistemlerdir. Tekerlek setleri, aks kutusu, fren donanımı, bolster, yatay damper, birincil ve ikincil süspansiyonlar boji şasisi üzerinde yer alır. Düz hatve kurplarda aracın dengeli şekilde ilerlemesini sağlamak, araç hızla ilerlerken raydaki düzensizliklerden kaynaklanan titreşimleri absorbe etmek ve raylardaki aşınmayı minimize etmek bojinin görevleri arasındadır. Raylı taşıtlarda kullanılan en kritik elemanlardan birisi olan boji şasisinin son derece güvenli tasarlanması ve imal edilmesi önemli bir gerekliliktir. Bunun için raylı sistemlerde güvenlik açısından katı kuralları içeren standartlar kullanılmaktadır. TS EN 13749 standardı Türkiye tarafından kabul edilen ve uygulanan bir standarttır. Bu standart boji şasislerinin yapısal gerekliliklerini belirler. İki bölümden oluşan bu çalışmanın birinci bölümünde; Y32 boji şasisinin aşırı yük durumlarındaki statik analizleri sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak (SEY) gerçekleştirilmiş ve TS EN 13749 standardınca uygunluğu değerlendirilmiştir. Analizleri gerçekleştirmek için öncelikle Y32 Bojisinin üç boyutlu (3B) katı modeli oluşturulmuştur. 3B katı modelleme işlemi Solidworks yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapısal analizler için ise sonlu elemanlar yöntemi tabanlı Ansys Workbench yazılımı kullanılmıştır. Oluşturulan 3B katı model sonlu elemanlara hazırlık aşaması ve çözüm ağı oluşturulması amacıyla Ansys Workbench yazılımına aktararak, gerekli görülen geometrik düzenlemeler ve çözüm ağına ayırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Modelleme işleminde herhangi bir basitleştirmeye gidilmemiş olup, gerçekçi bir model kurulmuştur. Modelde uygun şekilde çözüm ağı oluşturulmuş, TS EN 13749 standardı dikkate alınarak sınır şartları ve kuvvetler uygulanmıştır. Yapısal analizlerde kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri tanımlanmış ve parçalar arası bağlantılar Ansys Workbench yazılımı içerisinde kurulmuştur. Yapısal analizler neticesinde elde edilen sonuçlar TS EN 13749 standardında izin verilen malzeme limit değerleri dikkate alınarak değerlendirilmiş uygun olmayan koşullar için çözüm önerileri sunulmuştur. Çalışmanın ikinci bölümünde ise, normal servis yüklemesi koşulu altında Y32 bojisinin yorulma analizleri gerçekleştirilmiş olup, her düğüm noktasına karşılık gelen ortalama gerilme ve gerilme genliği değerleri hesaplanmış ve yorulma sonuçları Haigh ve Goodman Diyagramları'nda ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Y32 Bojisi, Statik Analiz, Sonlu Elemanlar Yöntemi, Aşırı Yükleme

## Structural Analysis of Y32 Bogie Under Exceptional Conditions Part 1: Static Analysis

### Abstract

\* Sorumlu Yazar: Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0002-9724-3433, [mmetin@yildiz.edu.tr](mailto:mmetin@yildiz.edu.tr)

Bogies are mechanical systems which carry vehicles in railway systems. Wheelsets, axle boxes, brake equipment, bolster, horizontal damper, primary and secondary suspensions are assembled to the bogie frame. Balancing the vehicle on straight rails and curves, absorbing the vibrations caused by irregularities on the track, causing minimum wear and irregularity on the rails are also among the tasks of the bogie. It is an important requirement that the bogie frame, which is one of the most critical elements used in rail vehicles, is designed and manufactured safely. For this purpose, safety standards which have strict rules are used in rail systems. EN 13749 is a standard which is accepted and implemented by Turkey. This standard determines the structural conditions of the bogie frame. The aim of the first part of this two-series study is to investigate the conformity with the EN 13749 standard by performing the finite element method under exceptional loads and to offer solutions for unfavorable conditions.

3D solid modeling has been performed using Solidworks software. Ansys Workbench has been used for structural analyses. The 3D solid model was transferred to Ansys Workbench software for the preparation of finite elements and the necessary geometric arrangements have been performed. No simplification method has made in the modeling process and a realistic model has been established. In the model, a suitable finite element mesh has been established and boundary conditions and forces have been applied in accordance with TS EN 13749 standard. The mechanical properties of the materials used in the structural analysis have been defined and the connections have been done in Ansys Workbench environment. The results obtained from the structural analyses have been evaluated considering the material limit values allowed in TS EN 13749 standard and suggestions have been proposed for non-suitable conditions. In the second part of this study, fatigue analysis of Y32 bogie has been performed under normal service loading condition. In fatigue analysis, mean stress and alternating stress results of each node have been deduced and these results have been evaluated on the High Diagram and also Goodman Diagram too.

**Keywords:** Y32 Bogie, Static Analysis, Finite Element Method, Exceptional Load

## 1. Giriş

Y32 Bojisi Tüvasaş tarafından üretilir ve yine Tüvasaş tarafından üretilen TVS 2000 serisi vagonlarda kullanılırlar. Boji şasisi çelik plakaların birbirlerine kaynatılmasıyla üretilir. Birincil ve ikincil süspansiyon sistemine sahip olan Y32 bojisi bir adet yanall dampere sahiptir. Bolsterlı boji sınıfına giren Y32 bojisinin vagon sandığı ile bağlantısı cer halatı sayesinde olmaktadır. Y32 bojisi 4 adet fren diskine sahiptir. Aks yükü 16 tondur. Maksimum servis hızı 160 km/sa olan Y32 bojisinin Sperling metoduna göre 140 km/sa'te sürüş kalitesi 2.5'tir (Wz). Y32 Bojileri tip onay analiz ve testleri yapılırken aşırı yüklenme koşulları dikkate alınmaz, normal yüklenme koşullarında çalıştığı varsayılır. Ancak, raylı sistem araçları aşırı yüklenme koşullarına da maruz kalabilmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada genel uygulamalardan ve literatürde yer alan araştırmalardan farklı olarak aşırı yüklenme koşullarında bojinin yapısal davranışı incelenmiş ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

Raylı sistemler dünyada yaygın olarak kullanıldıkları için pek çok farklı ülkeden çeşitli akademik araştırmalar gerçekleştirilerek literatüre kazandırılmıştır. Ancak bojiler üzerine nitelikli araştırmaların sayısı oldukça sınırlıdır. Aşağıda boji üzerinde uygulanan analiz çalışmalarından bazıları anlatılmıştır.

Sabırlı İstanbul'da kullanılacak olan bir tramvay bojisinin yorulma analizini gerçekleştirmiştir. Yorulma analizini TS EN 13749 standardına göre gerçekleştirmiş ve analiz sonuçlarını Haigh Diyagramı'nda değerlendirmiştir [1]. Zhang yüksek hızlı EMU trenlerinin motor bojileri için aşırı yük durumları, normal servis yüklemesi durumları ve modal analizi ile ilgili bir makale yazmıştır. Çalışmasını UIC 615-4 standardına göre yapmıştır [2]. Hindistan'da LHB (Linke Hofmann Busch) yolcu vagonları FIAT boji şasisi kullanılmaktadır. Bu bojinin limitlerini iyileştirmek amacıyla yeni CASNUB boji şasisinin LHB yolcu vagonları için kullanılıp kullanılmayacağı Bhadraiah tarafından araştırılmıştır. Analiz programı olarak Ansys Mechanical APDL kullanılmıştır [3]. Haldar ve Verma, döküm metodu ile üretilen bir boji ile plakaları kaynatılarak üretilen bir bojinin yük durumları karşısında gösterdikleri farkları araştırmışlardır. Analizde Ansys Workbench programı kullanılmıştır. Analiz sonuçları, üretim metodları arasındaki farklılıklar ve güvenilirlik gibi pek çok faktör göz önüne alındığında plakaları kaynatılarak üretilen boji daha avantajlı olarak görülmüştür [4]. Tang, bir DMU (Diesel Multiple Units) trenlerinin bojilerinin yorulma ve modal analizlerini gerçekleştirmiştir. Çalışmada Ansys programı kullanılmış olup analizler UIC standardına göre yapılmıştır [5]. Dizo, Harusinec ve Blatnický modifiye edilmiş bir yük vagonu bojisinin yapısal analizlerini gerçekleştirmişlerdir. EN 13749 standardına göre yapılan analizde Ansys programı kullanılmış olup sonuçlar paylaşılmıştır [6]. Cera, boji şasisinin yorulma analizlerini yapmışlardır. Analizler EN 13749 standardına göre yapılmış ve Ansys programı kullanılmıştır. Analizde kaynaklı bölgelere ayrıca önem gösterilmiştir. Farklı metodlarda yorulma analizleri uygulanmış ve hangisinin daha doğru sonuçlar verdiği araştırılmıştır [7]. Dai, yüksek hızlı bir trenin boji şasisinin mukavemet analizi ile ilgili bir makale yazmıştır. Analizleri Ansys programında gerçekleştirmiştir. Kullandığı standard ise "Bullet Train Bogie Frame Strength Test Method" (TB/T2368-2005) olarak geçmektedir. Bulduğu deplasman ve gerilme sonuçları referans aldığı standarda göre uygun değerlerdedir [8].

Kim ve Kim bir yalpalı tren bojisinin yorulma analizini gerçekleştirmiştir. Yalpalı trenler kurplara girdikleri zaman daha hızlı hareket edecek şekilde tasarlanmışlardır. Yorulma analizinde Goodman Diyagramı kullanılmıştır. Yorulma analizindeki sonuçların diyagrama bakılarak uygun olduğu belirtilmiştir [9]. Huang ve Chen bir bojinin EN 13749 standardına göre yorulma analizini gerçekleştirmişlerdir. Buna ek olarak tren hızının bojinin yorulmadaki çevrim süresini nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Trenin hızı arttıkça bojinin yük çevrim ömrü de ciddi oranda azalmaktadır [10].

Bu çalışmanın burada yer alan birinci bölümünün amacı ise, Y32 boji şasisinin aşırı yük durumlarında (statik analiz) TS EN 13749 standardına uygun olarak yapısal analizinin gerçekleştirilmesidir [11]. Bunun için, boji şasisinin üç boyutlu katı modeli çıkarılmış ve Ansys Workbench programında çözüm ağı (mesh) oluşturulmuştur. Analizler için boji geometrisinde herhangi bir basitleştirmeye

gidilmemiştir. Boji şasisinde kullanılan malzememin mekanik özellikleri belirlenmiştir. Standarda uygun şekilde sınır şartları ve kuvvetler uygulanmıştır. Aşırı yük durumlarında analiz sonuçlarındaki deformasyon ve gerilme değerleri incelenmiştir. Statik analizler sonucunda malzemelerin akma gerilmesine (yielding) maruz kalıp kalmadığına bakılmıştır.

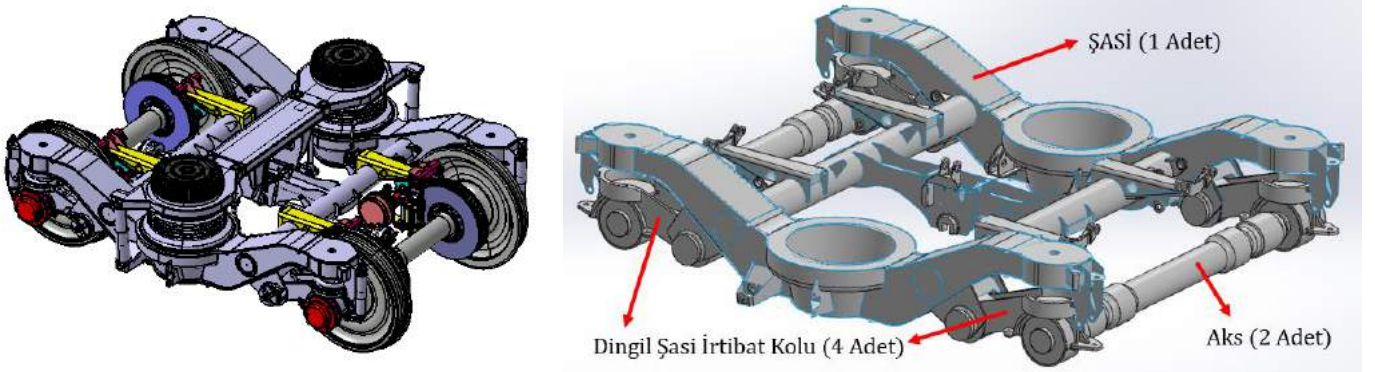
## 2. Y32 Bojisi

Y32 Bojisi şehirlerarası demiryollarında kullanılmak üzere tasarlanmıştır. 1970 yılında tasarlanan boji 1975 yılında De Dietrich firması tarafından üretilmeye başlanmıştır. Bu Fransız şirketini 1990'lı yıllarda Alstom firması kendi bünyesine katmıştır. Tüvasaş, 10 Şubat 1989 tarihinde De Dietrich firması ile bir lisans anlaşması yapmış ve Y32 Bojilerini üretmeye başlamıştır. Y32 Bojisi günümüzde Hollanda, Portekiz, Fas, İspanya ve Türkiye'de kullanılmaktadır [12].



Şekil 1. TVS 2000 Serisi vagonlarını taşıyan Y32 Bojisi [12]

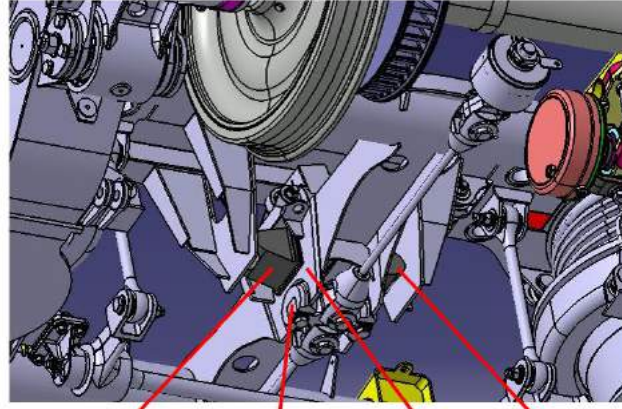
Y32 bojisinin araç üzerindeki görünüşü ve izometrik üç boyutlu katı modelleri Şekil 1 ve Şekil 2'de görülmektedir. Boji toplam kütlesi 5750 kg olup şasi ağırlığı 2200 kg'dır. Bu çalışmada yalnızca boji şasisi, dingil-şasi irtibat kolları ve akslar incelenmiştir.



Şekil 2. Y32 Bojisinin ve şasisinin izometrik görünüşleri

Y32 bojisinin üzerindeki lastik dayama, boji çekme mekanizması, yanal stop plakası ve bu parçaların görünüşü Şekil 3'te verilmiştir.





Lastik Dayama Boji Çekme Mekanizması Yanal Stop Plakası Lastik Dayama

Şekil 3. Y32 bojisinin üzerinde bulunan parçalar

## 2.1. Boji Malzemeleri

Şaside kullanılan çelik malzemenin Alman standardına göre kalitesi St52-3N'dir. Avrupa standardına göre ise bu çelik kalitesi EN 10025-2 S355J2G3 olarak geçmektedir. St52-3N çeliği yapısal çelik sınıfına girer, alaşımsız bir çelik çeşididir. Dingil şasi irtibat kolunda kullanılan malzeme Alman standardına göre GS 45-3 kalitesinde çelik dökümdür. Bu çelik döküm türü Avrupa standardına göre GE 240 olarak geçmektedir. Makine elemanlarında genel olarak kullanılan bir çelik kalitesidir [14]. Akslarda kullanılan çelik kalitesi EA1N'dir ve özel bir çelik kalitesidir. Akslar üretilirken sıcak dövme, talaşlı imalat, ısıl işlem ve taşlama işlemlerinden geçer. Tablo 1'de bu malzemelere ait mekanik özellikler verilmiştir.

Tablo 1. Y32 Bojisi için malzeme özellikleri [13]-[15]

Malzeme Özelliği	Boji Şasisi (St52-3N)	Dingil-Şasi İrtibat Kolu (GS45-3)	Aks (EA1N)
	Değeri	Değeri	Değeri
Young Modülü	190.000 MPa	200.000 MPa	200.000 MPa
Poisson Oranı	0,29	0,30	0,30
Çekmedeki Akma Dayanımı	325 MPa	260 MPa	320 MPa
Basmadaki Akma Dayanımı	325 MPa	260 MPa	320 MPa
Kopma Dayanımı	510 Mpa	450 Mpa	550 Mpa
Yorulma Dayanımı (10 <sup>6</sup> Çevrim İçin)	210 MPa	200 MPa	200 MPa

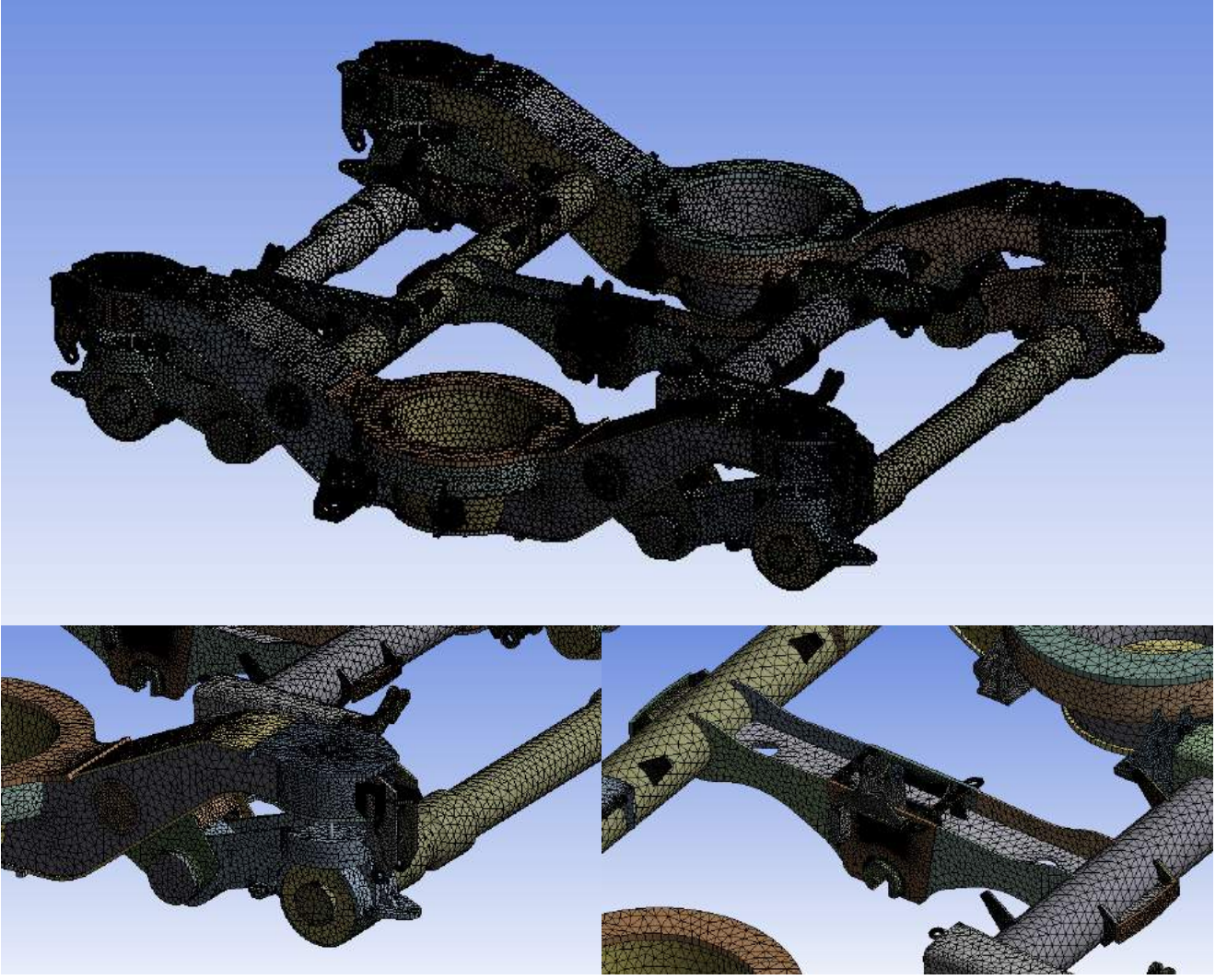
## 3. Analiz Modelinin Hazırlanması

### 3.1. Y32 Boji Modeli

Sac metal yapısal özelliğine sahip boji şasisi üzerinde orta yüzey (mid-plane) olarak modellenen kısımlara ek olarak solid modelleme yapılan parçalardan oluşturulmuştur. Bu amaçla boji şasinin orta yüzeyi çıkarılacak parçalara gerekli CAD işlemi uygulanmıştır. Yüzey olarak modellenen boji şasisi parçaları üç düğüm noktalı (tria) eleman tipi kullanılarak ve katı olarak modellenen kısımlar için ise tet elemanlar yardımıyla sonlu eleman modellemesi gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlara ayırma işlemi sırasında ortalam eleman boyutu 20 mm olarak belirlenmiş olup, gerekli görülen bölge ve parçalarda 10 mm ile 30 mm arasında eleman boyutu kullanılmıştır.

Sonlu elemanlar yöntemi tabanlı Ansys Workbench yazılımı ile gerçekleştirilecek olan yapısal analizler için oluşturulan çözüm ağındaki (mesh) toplam eleman sayısı 449,596'dır. Şekil 4'te görülen çözüm ağında toplam düğüm noktası (node) sayısı ise 624,785'tir.





Şekil 4. Y32 Bojisi için oluşturulan çözüm ağı (mesh)

Çözüm ağındaki elemanların kalitesi “0” ile “1” arasında olan bir aralıkta belirlenir. Eğer bu sayı “1” ise eleman mükemmel kalitededir. “0”a doğru gittikçe elemanın kalitesi düşmektedir [16].

Sonlu Eleman 2 boyutlu ise (Üçgen veya dörtgen):

$$\text{Eleman Kalitesi} = C \left( \frac{\text{Alan}}{\sum(\text{Kenar Uzunluğu})^2} \right) \quad (1)$$

Sonlu Eleman 3 boyutlu ise (Dört yüzlü veya Altı yüzlü):

$$\text{Eleman Kalitesi} = C \left( \frac{\text{Hacim}}{\sqrt{[\sum(\text{Kenar Uzunluğu})^2]^3}} \right) \quad (2)$$

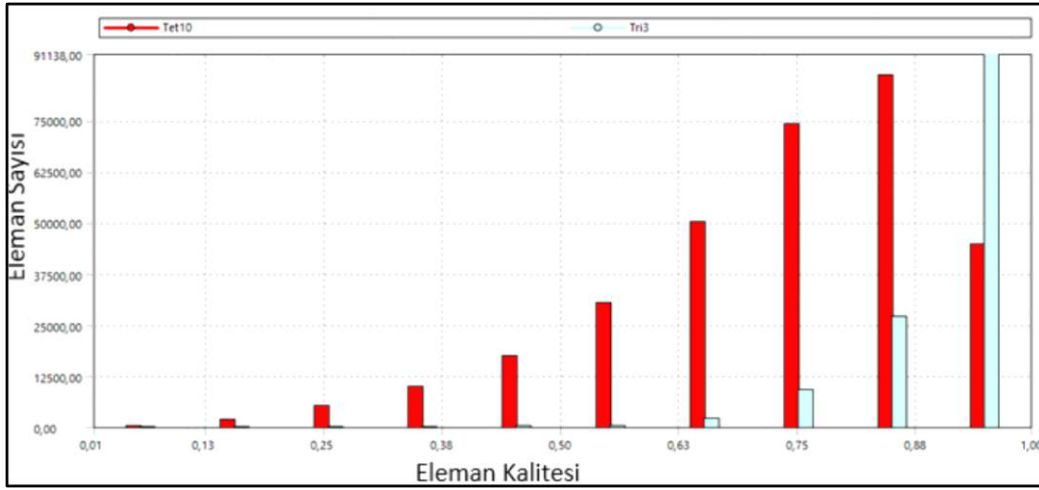
Tablo 2. Eleman şekline göre C değerleri [16]

Eleman Şekli	C Değeri
Üçgen	6.9282
Dörtgen	4.0
Dört yüzlü	124.7076
Altı yüzlü	41.5692

Tablo 3. Çözüm ağı kalitesi istatistikleri

Düğüm Noktası Sayısı	624785
Eleman Sayısı	449596
Ortalama Eleman Kalitesi	0.7853

Tablo 3'te gösterildiği gibi ortalama eleman kalitesi (üçgen + dört yüzlü) 0.79'dur. Bu elemanların standart sapması ise 0.17'dir. Maksimum eleman kalitesinin değeri 1'dir. Minimum eleman kalitesinin değeri ise 0.0065'tir. Elemanların ortalama çarpıklık (skewness) değeri ise 0.3'tür. 0.25 ile 0.5 arasındaki çarpıklık (skewness) değerleri "iyi" kategorisine girmektedir. Diklik kalitesi (ortogonal quality) incelendiğinde ortalama 0.81 çıkmaktadır. Bütün elemanlar arasındaki minimum diklik kalitesi 0.013 çıkmaktadır. Bu değer 0.01'den büyük olmalıdır. Çözüm ağımda ise bu değer 0.01'den büyük çıkmıştır. Ansys yazılımı için geçerli çözüm ağı kalite özellikleri ve detayları programın kullanıcı dokümanlarında detaylı olarak bulunmaktadır ve analizler için bu değerler referans alınmıştır [16].



Şekil 5. Çözüm ağındaki eleman kalite değerleri grafiği

Şekil 5'te açık (mavi) sütunlar yüzeylere (plakalara) uygulanan çözüm ağındaki üçgen şeklindeki elemanların kalite değerine göre adetleridir. Koyu (kırmızı) sütunlar ise katı modellerde bulunan dört yüzlü (tetrahedron) şeklindeki elemanların kalite değerlerine göre adetleridir.

Analizler için ANSYS 14.5 programı kullanılmıştır. Hesaplama için kullanılan bilgisayar 2.70 GHz hızında 4 çekirdekli bir işlemciye ve 32 GB RAM'a sahiptir. Herbir analiz senaryosu için CPU çözüm süresi 180 ile 240 dk. arasında değişmektedir.

### 3.2. Aşırı Yük Durumlarında Kuvvetlerin Hesaplanması

Aşırı yük durumlarında boji üzerine gelen kuvvetler TS EN 13749:2011 standardına uygun olarak hesaplanmıştır. Standart içinde yapılan boji sınıflandırmasında Y32 bojisi B-I kategorisine girdiğinden bu kategori altında belirtilen eşitlikler üzerinden hesaplamalar yapılmıştır [11].

Y32 bojisi taşıyıcı bojidir. Her yolcu vagonunun altında 2 adet boji bulunmaktadır. Bu nedenle bir vagonu 4 adet aks taşımaktadır. Y32 bojisinin aks yükü 16 ton olarak alınmıştır. Aşağıda, düşey, yanal ve boyuna gelen kuvvetlerin hesapları yer almaktadır. TS EN 13749 standardı dikkate alındığında, düşey kuvvetlerin araç, boji ve ekipmanların ağırlıkları neticesinde oluştuğu, yanal kuvvetlerin ise kurp geçişi sırasında teker-ray teması neticesinde oluştuğu kabul edilmektedir. Boyuna kuvvetler ise kurp geçişi sırasında aracın çekilmesi ve frenlemesi sırasında oluşan kuvvetlerdir.

#### 3.2.1. Düşey Kuvvetler

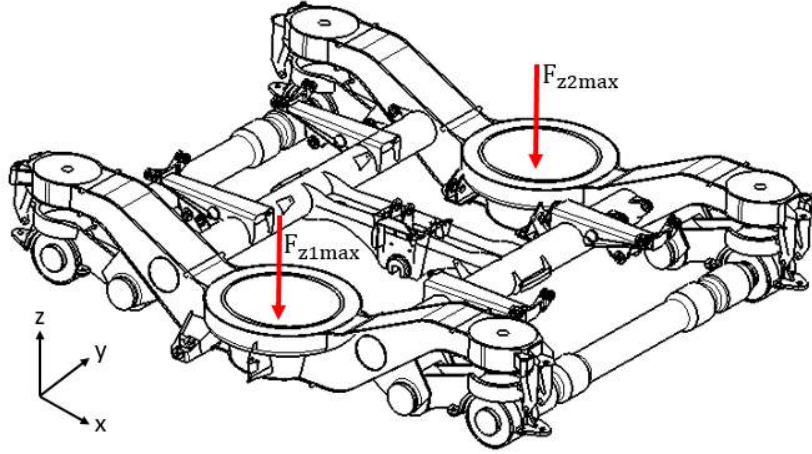
Tablo 4 'te kuvvet hesabında kullanılan parametreleri verilen ve Şekil 6'te düşey kuvvetleri gösterilen bojinin sağ ve sol olarak iki boylamsal yan girişine de eşit kuvvetlerin geldiği ve araç gövdesinin bu girişlerle direkt olarak taşındığı varsayılmıştır [11].

TS EN 13749 standardı kapsamında Denklem 3'te yük faktörü (load factor) 1.4 olarak alınmıştır. Bu değer özel durumlar için 2.0' a kadar büyütülebilmektedir.

$$F_{z1max} = F_{z2max} = \frac{F_{zmax}}{2} = \frac{1.4 g (M_v + P_1 - 2 m^+)}{4} \quad (3)$$

Tablo 4. Düşey Kuvvet Hesabında Kullanılan Parametreler [17]

Parametre	Değeri	Tanımı
$M_v$	41500 kg	İşletmedeki araç kütlesi [Karoseri + Boji]
$P_1$	22500 kg	Yolcu kütlesi (TS EN 15663 Standardına göre)
$m^+$	5750 kg	Boji kütlesi
$F_{zmax}$	180259 N	Boji üstüne gelen toplam düşey kuvvet. ( $F_{z1max} = F_{z2max}$ )
$P_1 = 16000 \text{ kg} \times 4 - 41500 \text{ kg} = 22500 \text{ kg}$		



Şekil 6. Düşey kuvvetler

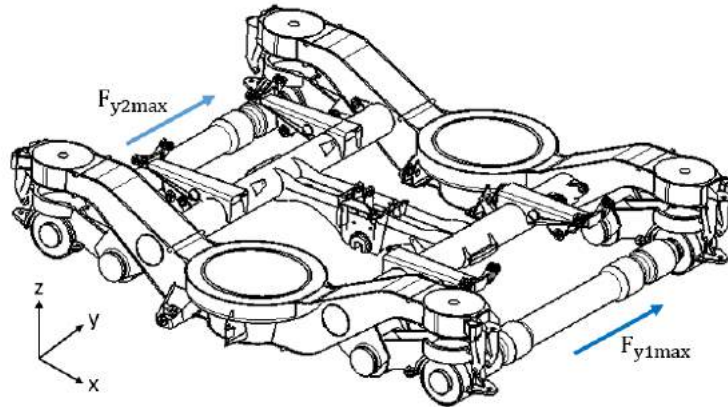
### 3.2.2. Yanal Kuvvetler

Şekil 7’de gösterilen yanal kuvvetler her iki aksa da eşit olarak uygulanır [11].

$$F_{y1max} = F_{y2max} = \frac{F_{ymax}}{2} = 10^4 + \frac{(M_v + P_1) g}{12} \quad (4)$$

burada,  $g$  yerçekimi ivmesidir,  $9.81 \text{ m/s}^2$ .  $F_{y1max} = F_{y2max} = 62320 \text{ N}$

TS EN 13749 standardı dikkate alınarak hesaplanan yanal kuvvetler, kurp geçişi sırasında tekerlek-ray teması neticesinde oluşan kuvvetlerdir. Denklem 4’te enine kuvvetlerin hesabı ray üzerindeki yük tekrarı ve elde edilen deplasmanların kullanıldığı ampirik bir yaklaşım olan Prud’Homme sınırı göz önünde bulundurulmaktadır ve tüm demiryolu boji kategorileri için bu değer aynı kabul edilebilmektedir. Denklemde verilen  $10^4$  değeri tekrarlanan deneyler sonucunda elde edilmiş ampirik bir değerdir.



Şekil 7. Yanal kuvvetler

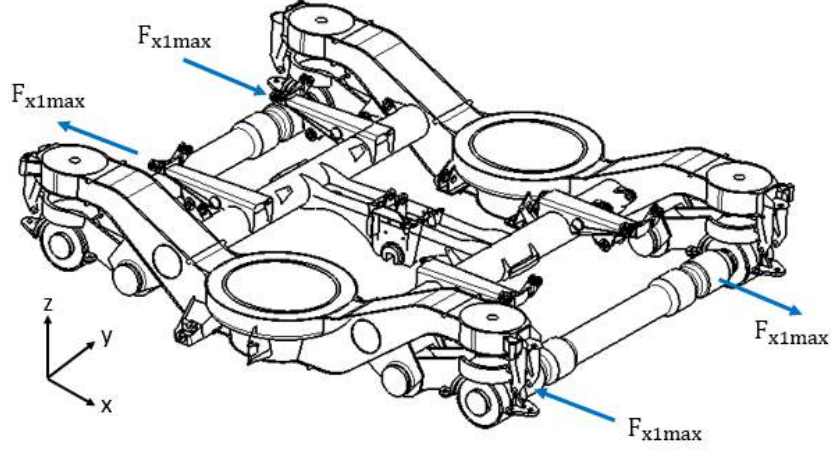


### 3.2.3. Boyuna Gelen Kuvvetler

Bu kuvvetler tekerleklere (tekerleklerin bağlandığı aksa) uygulanır. Sağ yanal kirişe yakın olan tekerlere negatif yönde (x doğrultusunda) sol yanal kirişe yakın olan tekerlere pozitif yönde (x doğrultusunda) kuvvet uygulanır (Şekil 8) [11].

$$F_{x1max} = 0.1 \times (F_{zmax} + m^+g) \quad (5)$$

burada,  $F_{x1max} = 41693$  N olarak bulunur.

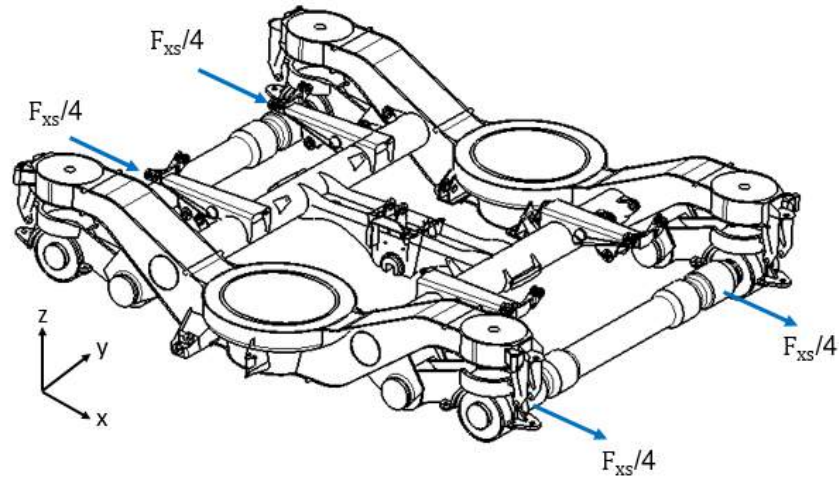


Şekil 8. Boyuna gelen kuvvetler

### 3.2.4. Boyuna Gelen Makas Değiştirme Kuvvetleri

Boyuna gelen makas değiştirme kuvvetleri hesaplanırken taşıyıcı boji üzerine 5g'lik bir ivme uygulanır. Motor bojilerin üzerine ise 3g'lik bir ivme uygulanır. Şekil 9'de gösterilen Y32 bojisi taşıyıcı boji olduğundan 5g değerindeki ivme uygulanmıştır [11].

$$F_{xs} = 5g \times m^+ = 282038 \text{ N}$$



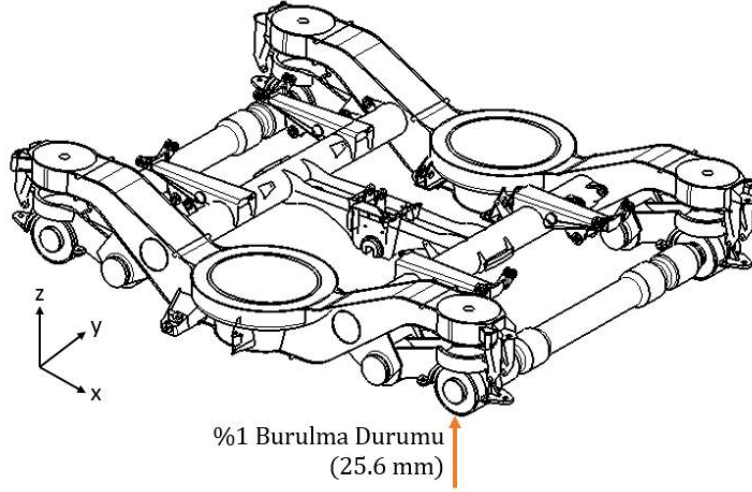
Şekil 9. Boyuna gelen makas değiştirme kuvvetleri

## 3.3. Burulma Durumları

### 3.3.1. %1 Burulma Durumu

Şekil 10'da gösterildiği üzere ilgili senaryo bojinin tekerleklerinden bir tanesinin diğer üçüne göre %1 oranında yukarı yönde yükselmesi durumudur [11]. Bojinin iki aksı arasındaki mesafe 2560 mm'dir. Bir adet tekerleğin yukarı yönde yükselme değeri:

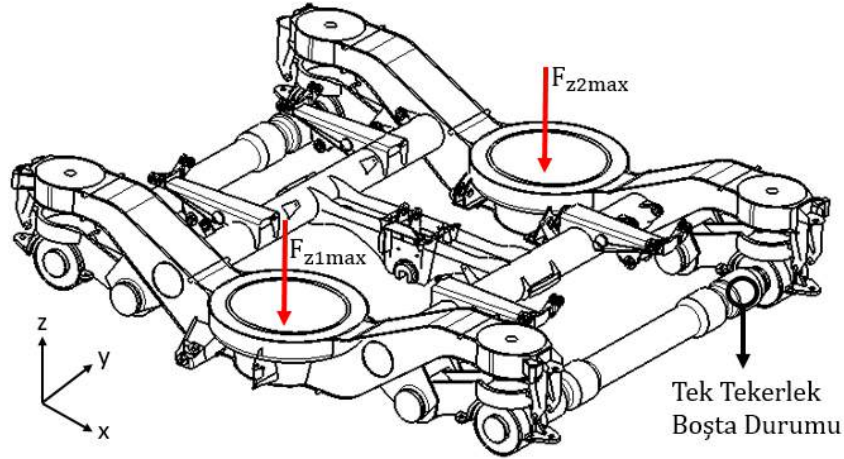
$$2560 \text{ mm} \times (1/100) = 25.6 \text{ mm} \text{ olarak hesaplanır.}$$



Şekil 10. %1 Burulma durumu

### 3.3.2. Tek Teker Boşta Durumu

Aracın boş olduğu bir durumda (sadece düşey kuvvetlerin olduğu) bojinin bir tekerleğinin hiç yük taşımadığı durumdur. Şekil 11’de görüleceği üzere toplam yük üç teker tarafından taşınır [11].



Şekil 11. Tek teker boşta durumu

## 4. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

TS EN 13749:2011 standardına göre 4 adet aşırı yük durumu incelenmiştir [11]. Bu 4 durum aşağıda listelenmiştir:

**Aşırı Yük Durumu 1** => Düşey Kuvvetler + Yanal Kuvvetler + %1 Burulma Durumu

**Aşırı Yük Durumu 2** => Düşey Kuvvetler + Boyuna Gelen Kuvvetler + %1 Burulma Durumu

**Aşırı Yük Durumu 3** => Düşey Kuvvetler + Boyuna Gelen Makas Değiştirme Kuvvetleri

**Aşırı Yük Durumu 4** => Boş Aracın Düşey Kuvveti + Tek Teker Boşta Durumu

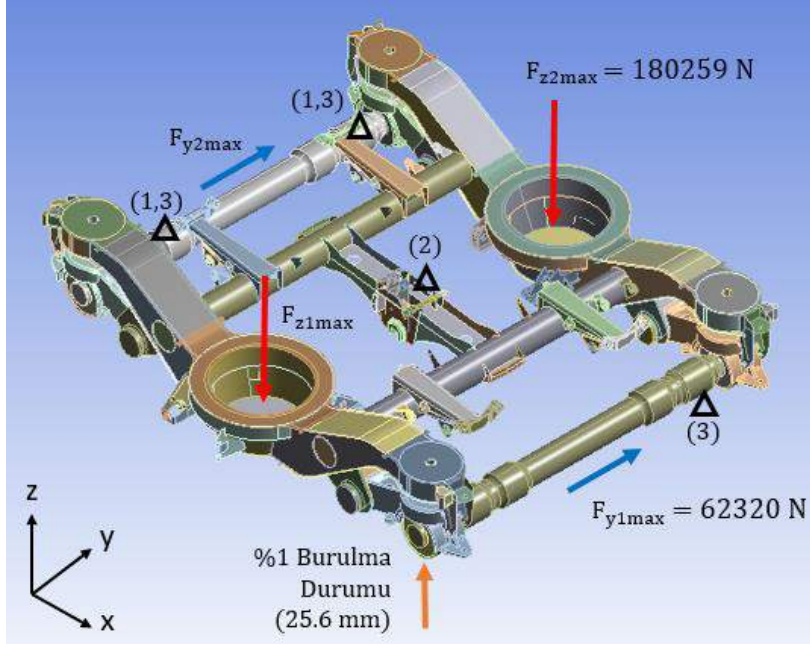
### 4.1. Aşırı Yük Durumu 1

#### 4.1.1. Sınır Şartları ve Kuvvetler

Analizin çözümü için Şekil 12’de gösterilen sınır şartları ve kuvvetler uygulanmıştır.



**Aşırı Yük Durumu 1** => Düşey Kuvvetler + Yanal Kuvvetler + %1 Burulma Durumu



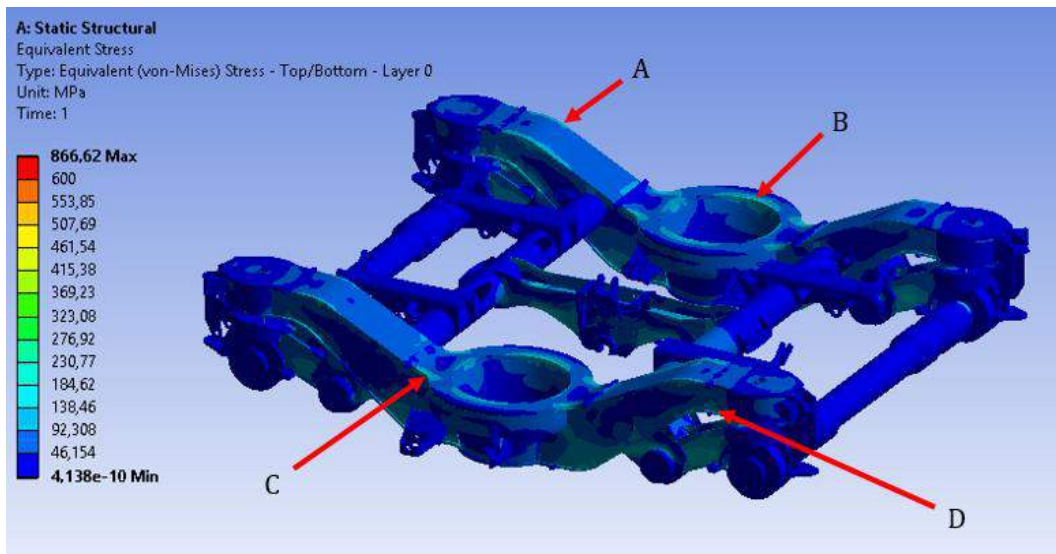
Şekil 12. Sınır şartları ve uygulanan kuvvetler (Aşırı Yük Durumu 1)

Analizlerde aşağıdaki koşullar uygulanır:

- (1) X, akslardan bir tanesinin boylamsal yönde hareketi sabitlenir.
- (2) Y, yanal stop plakasının yanal yönde hareketi sabitlenir.
- (3) Z, aksların düşey yönde hareketi sabitlenir.

#### 4.1.2. Çözüm Ağı Yakınsama Analizleri

Y32 Bojisinin statik analizlerine geçilmeden önce çözüm ağı yakınsaması “Aşırı Yük Durumu 1” senaryosu için 4 farklı çözüm ağı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. “Aşırı Yük Durumu 1” gerilme analizi toplamda 4 farklı çözüm ağı ile çözdürülmüş ve belirlenen yerlerdeki gerilme değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 13’de bojide çözüm ağı yakınsama analizleri için dikkate alınan noktalar görülmektedir.

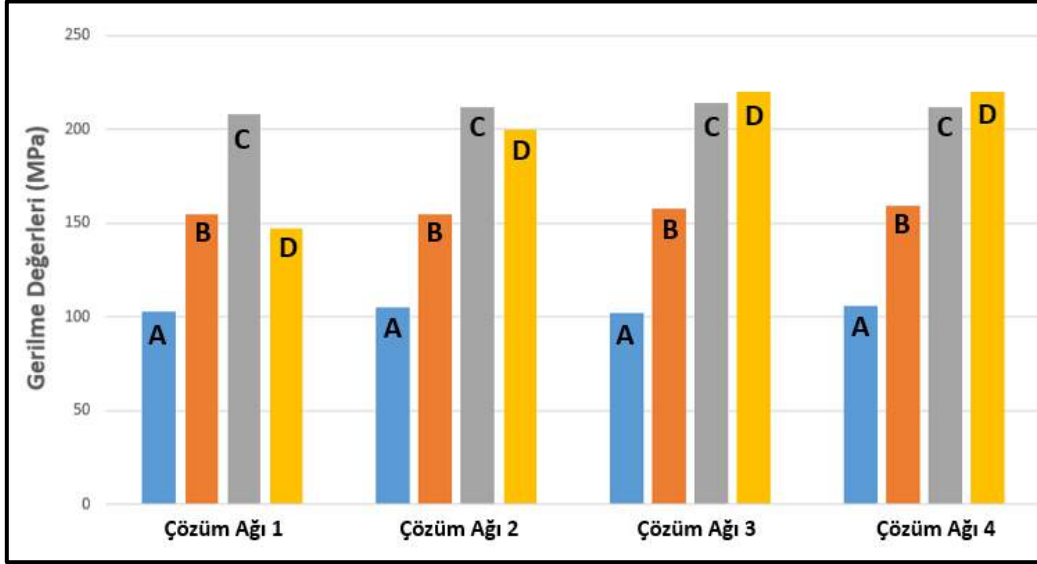


Şekil 13. Yakınsama için incelenen gerilme bölgeleri (Aşırı Yük Durumu 1)

4 Farklı çözüm ağındaki eleman ve düğüm noktaları (node) sayıları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 5. Çözüm ağlarındaki eleman sayıları ve düğüm noktaları sayıları

	Eleman Sayısı	Düğüm (Node) Sayısı
Çözüm Ağı 1	346,494	541,997
Çözüm Ağı 2	363,602	549,094
Çözüm Ağı 3	449,596	624,785
Çözüm Ağı 4	604,698	733,285

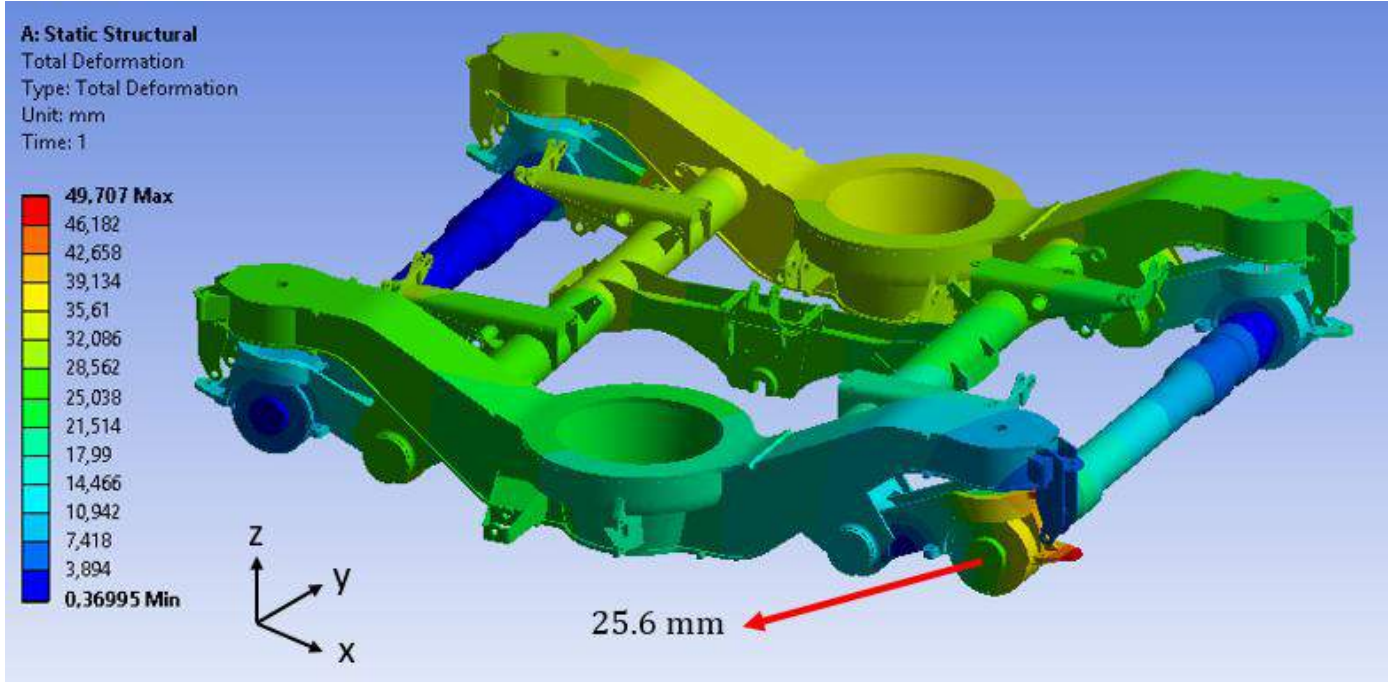


Şekil 14. Farklı çözüm ağlarındaki gerilme sonuçları (Aşırı Yük Durumu 1)

Şekil 14’de A, B, C ve D noktalarındaki gerilme değerlerinin 4 farklı çözüm ağındaki sonuçları gösterilmiştir. A, B ve C’deki gerilme değerleri 4 farklı çözüm ağına sahip analizlerde aynı hesaplanmıştır. D bölgesi ise Çözüm Ağı 3 ve Çözüm Ağı 4’te yakınsamıştır. “Çözüm Ağı 3” çalışmadaki tüm analizlerin yapılacağı model olarak seçilmiştir.

#### 4.1.3. Deformasyon Sonuçları

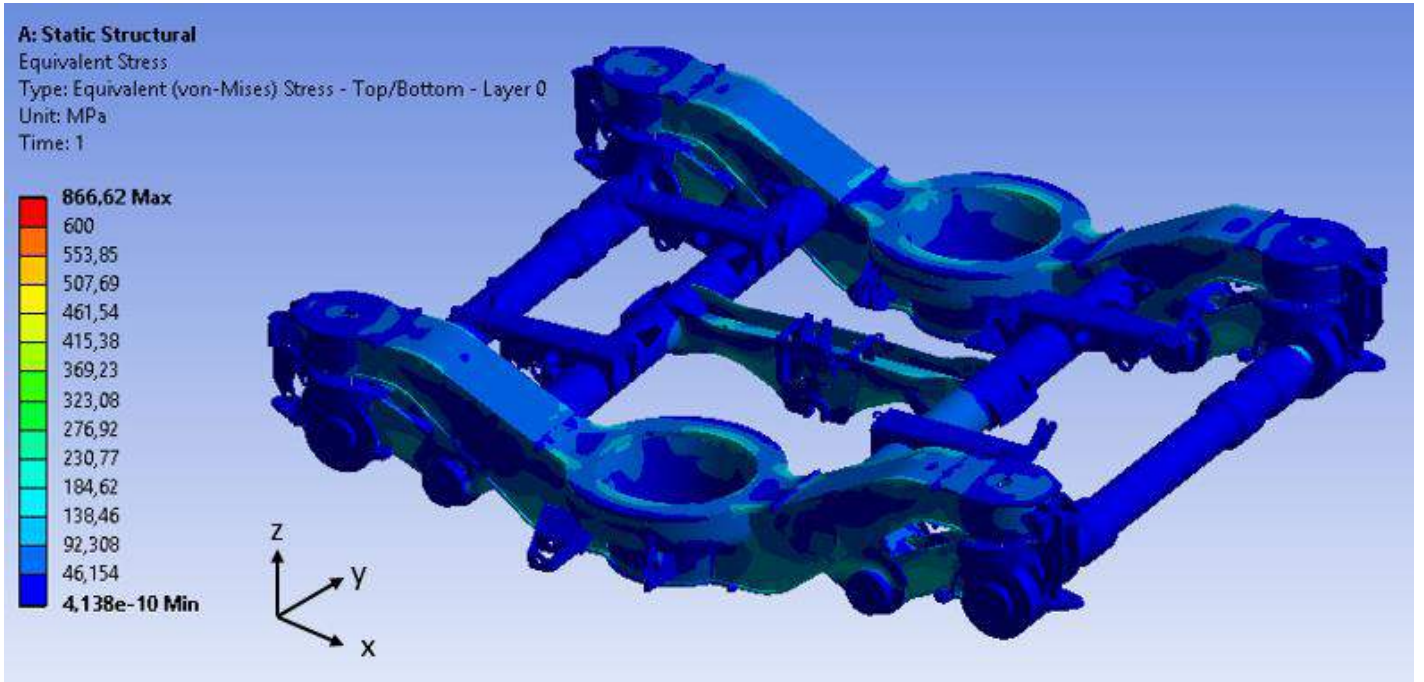
Aşırı yük durumu 1’de maksimum yerdeğiştirme 49.7 mm’dir ancak lokaldir. Şekil 15’de görüldüğü üzere bu değer yerine aks bağlantı bölgesinde oluşan 25.6 mm değeri dikkate alınmalıdır.



Şekil 15. Deformasyon sonuçları (Aşırı Yük Durumu 1)

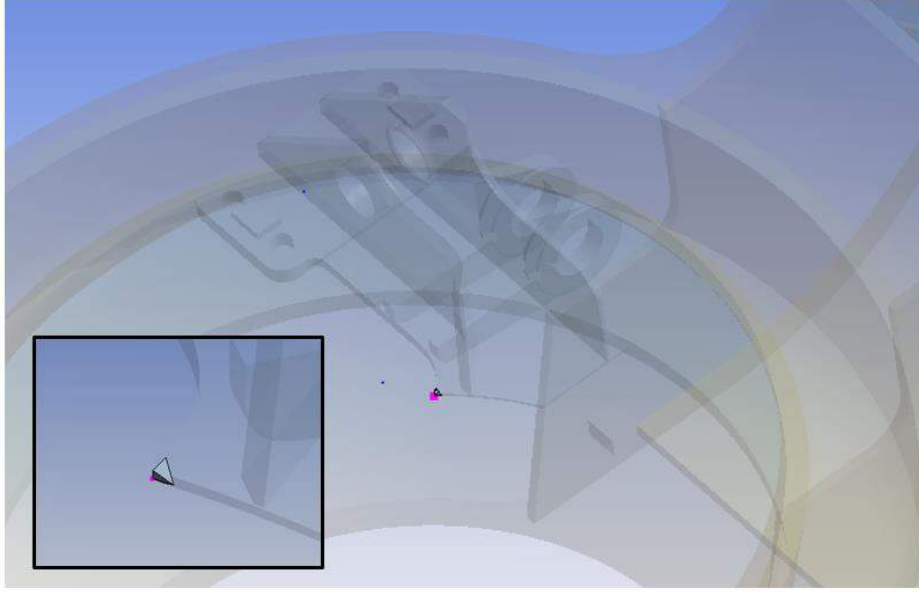
#### 4.1.4. Gerilme Sonuçları

Analiz sonuçlarında eşdeğer gerilme (von-Mises) değerlerine bakılmıştır (Şekil 16).



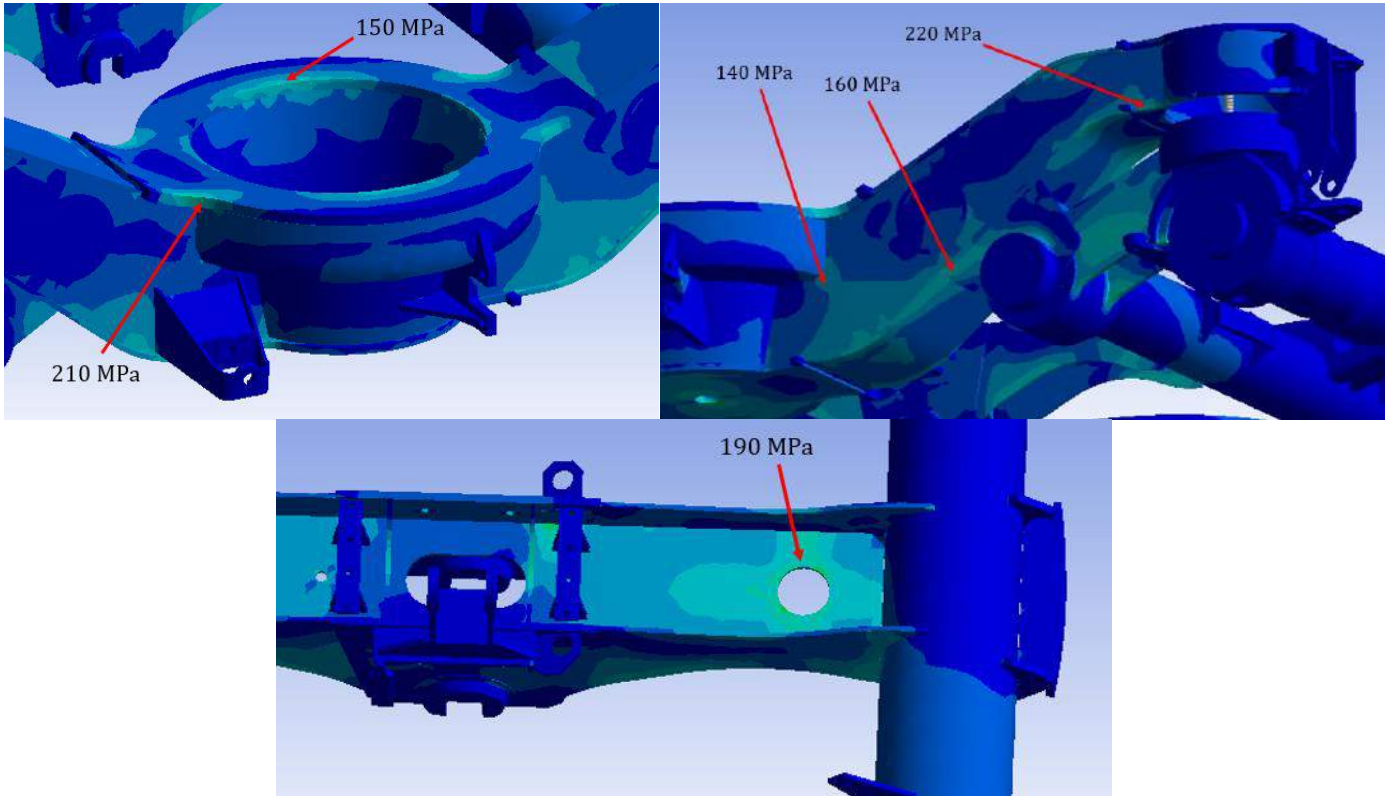
Şekil 16. Gerilme sonuçları genel görünüm (Aşırı Yük Durumu 1)





Şekil 17. Tekillik bölgesi genel ve detay görünüm (Aşırı Yük Durumu 1)

Sonlu elemanlar analizinde tekillik (Stress Singularity), gerilme değerinin teorik olarak sonsuza gittiği yerlerdir. Bunun en basit örneği bir noktaya uygulanacak tekil kuvvet olarak verilebilir. Kuvvetin uygulandığı alan sonsuz küçük olduğundan gerilme değeri de sonsuz çıkacaktır. Ayrıca çözüm ağında bulunan keskin köşeler veya boşluk civarı tekillik oluşturan bölgeler arasında sayılabilir. Tekillik bölgelerinde çözüm ağındaki eleman boyutlarının küçültülmesi gerilme değerini daha da büyütecektir. Şekil 17’te Aşırı Yük Durumu 1 için gerilme skalasında verilen 866 MPa değeri gösterilen keskin köşede oluşmaktadır ve tekillik kaynaklıdır. Bu sebeple maksimum gerilme olarak bu değer alınması gerçekçi olmayacaktır. Bunun yerine, Aşırı Yük Durumu 1’de maksimum eşdeğer gerilme (von - Mises Stress) değeri sağ boylamsal yan kiriş üzerinde 220 MPa olarak dikkate alınmıştır. Benzer şekilde çalışmanın devamında diğer yükleme senaryoları için de tekillik noktaları yerine gerilmenin maksimum çıktığı bölgeler detaylandırılarak verilmiştir.



Şekil 18. Gerilme sonuçları detaylı görünüm (Aşırı Yük Durumu 1)

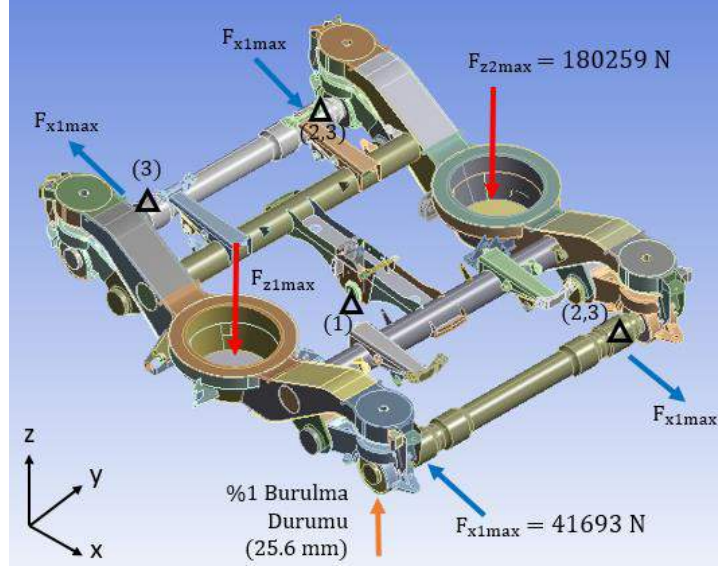
Aşırı Yük Durumu 1’de maksimum eşdeğer gerilme (von-Mises) değeri sağ boylamsal yan kiriş üzerinde 220 MPa’dır (Şekil 18).

## 4.2. Aşırı Yük Durumu 2

### 4.2.1. Sınır Şartları ve Kuvvetler

Ansyz Workbench programında aşağıda gösterilen sınır şartları ve kuvvetler uygulanmıştır (Şekil 19).

**Aşırı Yük Durumu 2** => Düşey Kuvvetler + Boyuna Gelen Kuvvetler + %1 Burulma Durumu



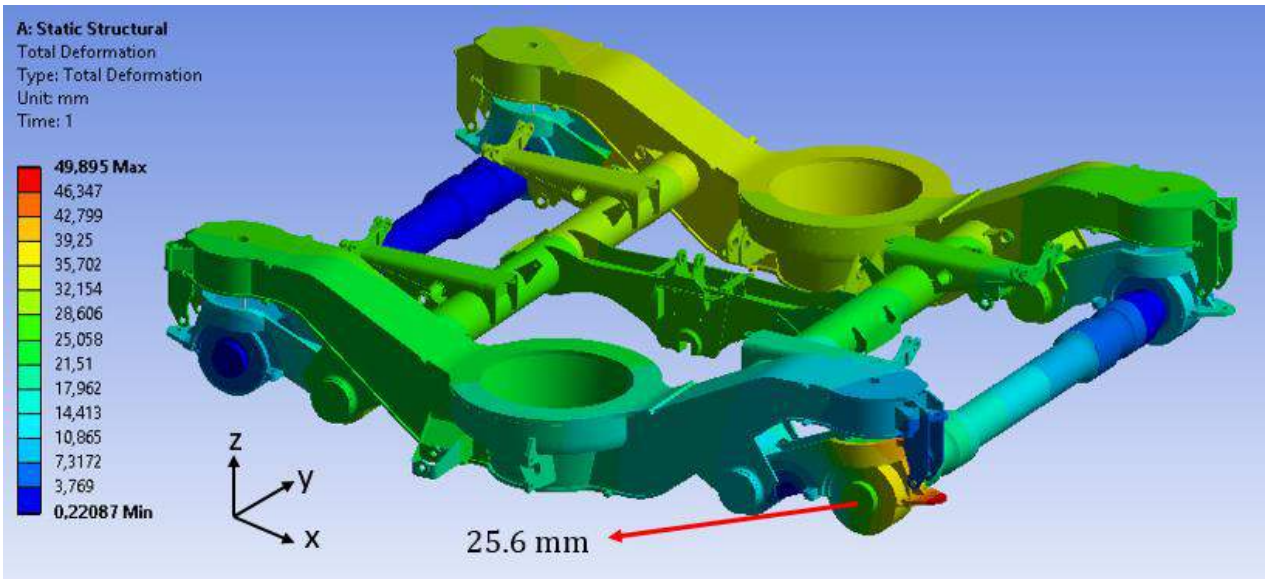
Şekil 19. Sınır şartları ve uygulanan kuvvetler (Aşırı Yük Durumu 2)

Analizlerde aşağıdaki koşullar uygulanır:

- (1) X, boji çekme sisteminin boylamsal yönde hareketi sabitlenir.
- (2) Y, aksların aynı taraftan yanıl yönde hareketi sabitlenir.
- (3) Z, aksların düşey yönde hareketi sabitlenir.

### 4.2.2. Deformasyon Sonuçları

Aşırı yük durumu 2’de maksimum deformasyon sonucu 49.9 mm’dir ancak lokaldir. Bu değer yerine aks bağlantı bölgesinde oluşan 25,6 mm değeri dikkate alınmalıdır (Şekil 17).

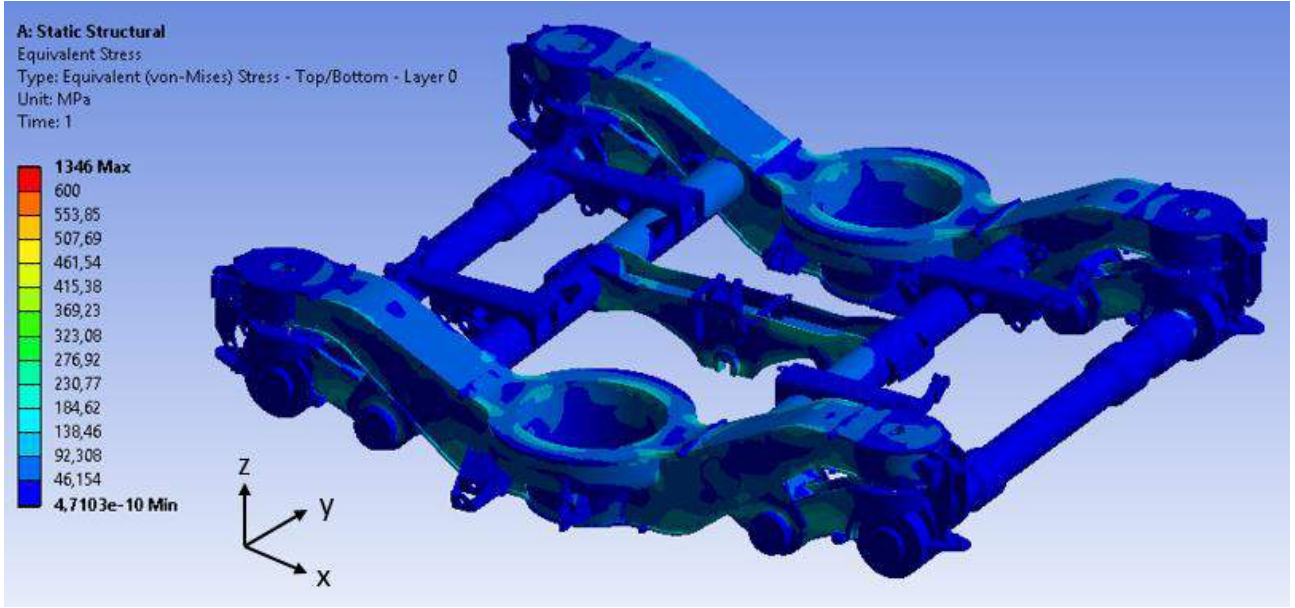


Şekil 20. Deformasyon sonuçları (Aşırı Yük Durumu 2)

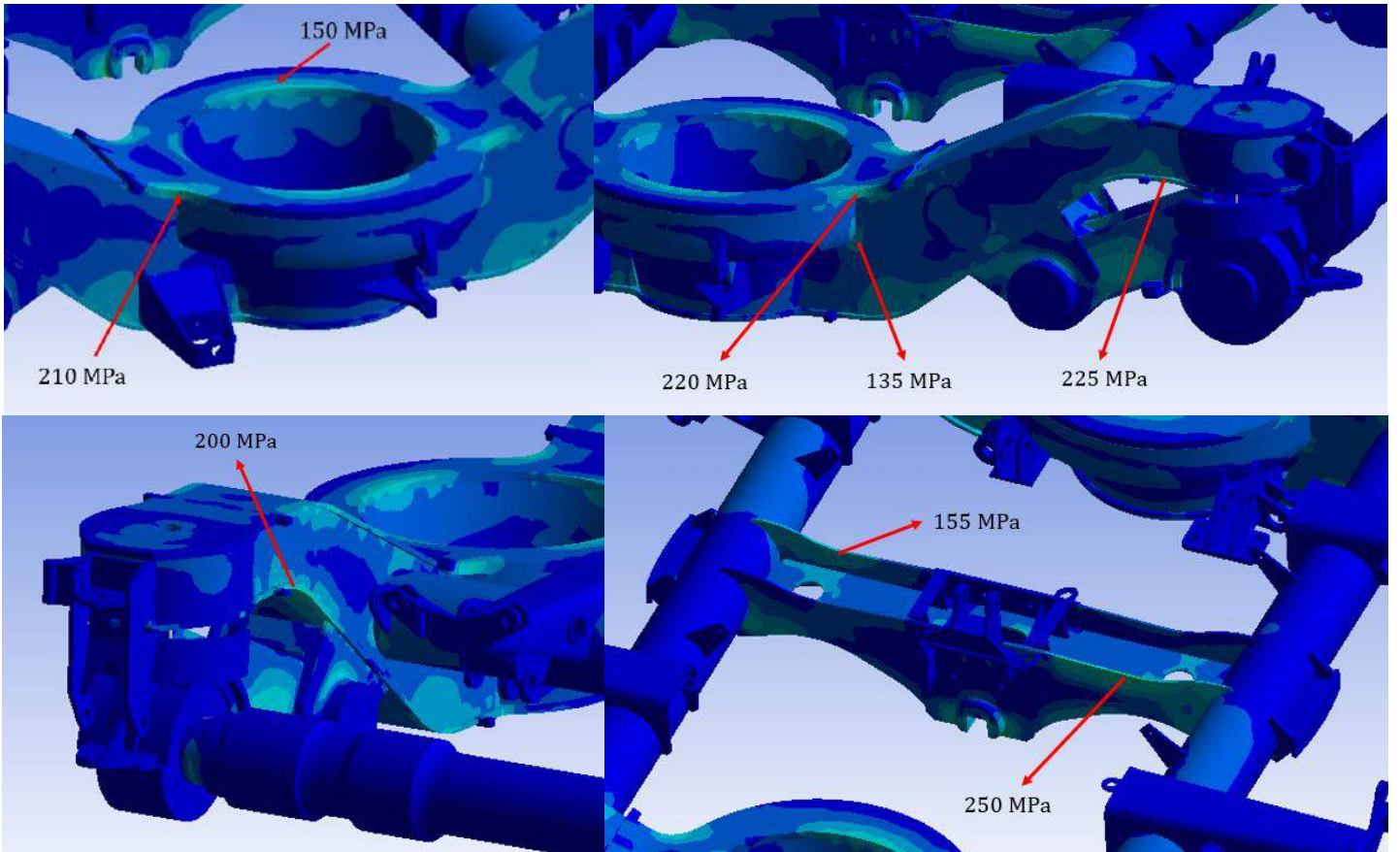


#### 4.2.3. Gerilme Sonuçları

Analiz sonuçlarında eşdeğer gerilme (von-Mises) değerlerine bakılmıştır (Şekil 21).



Şekil 21. Gerilme sonuçları genel görünüm (Aşırı Yük Durumu 2)



Şekil 22. Gerilme sonuçları detaylı görünüm (Aşırı Yük Durumu 2)

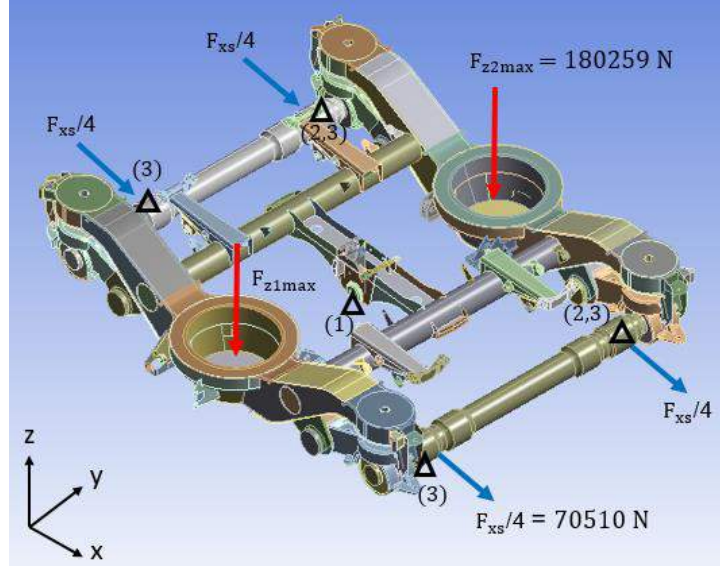
Aşırı yük durumu 2’de maksimum eşdeğer gerilme (von-Mises) değeri orta boylamsal kiriş üzerinde 250 MPa’dır (Şekil 22).

### 4.3. Aşırı Yük Durumu 3

#### 4.3.1. Sınır Şartları ve Kuvvetler

Ansyes Workbench programında aşağıda gösterilen sınır şartları ve kuvvetler uygulanmıştır (Şekil 23).

**Aşırı Yük Durumu 3** => Düşey Kuvvetler + Boyuna Gelen Makas Değiştirme Kuvvetleri



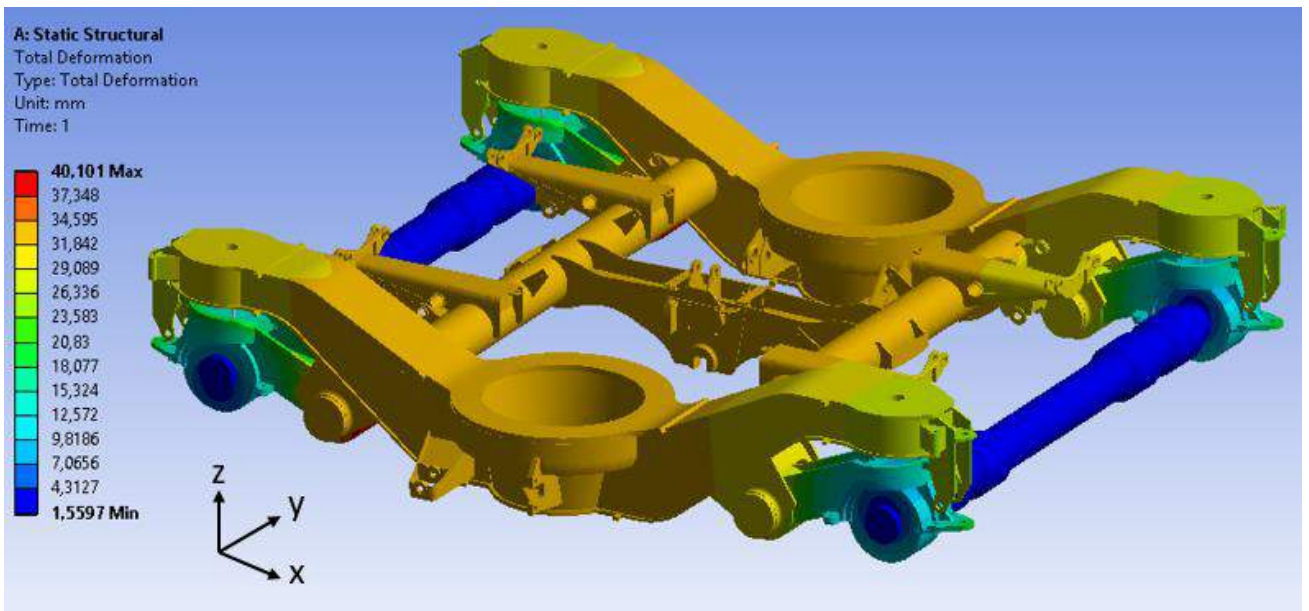
Şekil 23. Sınır şartları ve uygulanan kuvvetler (Aşırı Yük Durumu 3)

Analizlerde aşağıdaki koşullar uygulanır:

- (1) X, boji çekme sisteminin boylamsal yönde hareketi sabitlenir.
- (2) Y, aksların aynı taraftan yanal yönde hareketi sabitlenir.
- (3) Z, aksların düşey yönde hareketi sabitlenir.

#### 4.3.2. Deformasyon Sonuçları

Aşırı yük durumu 3'te maksimum deformasyon sonucu 40,1 mm'dir (Şekil 24).

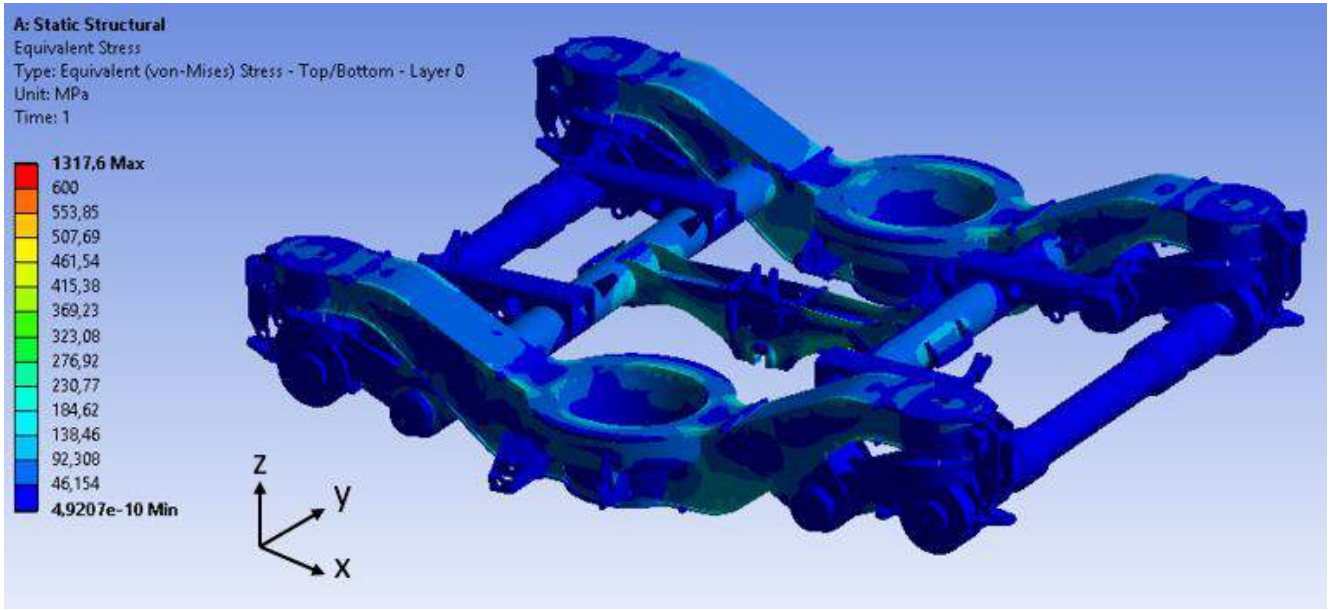


Şekil 24. Deformasyon sonuçları (Aşırı Yük Durumu 3)

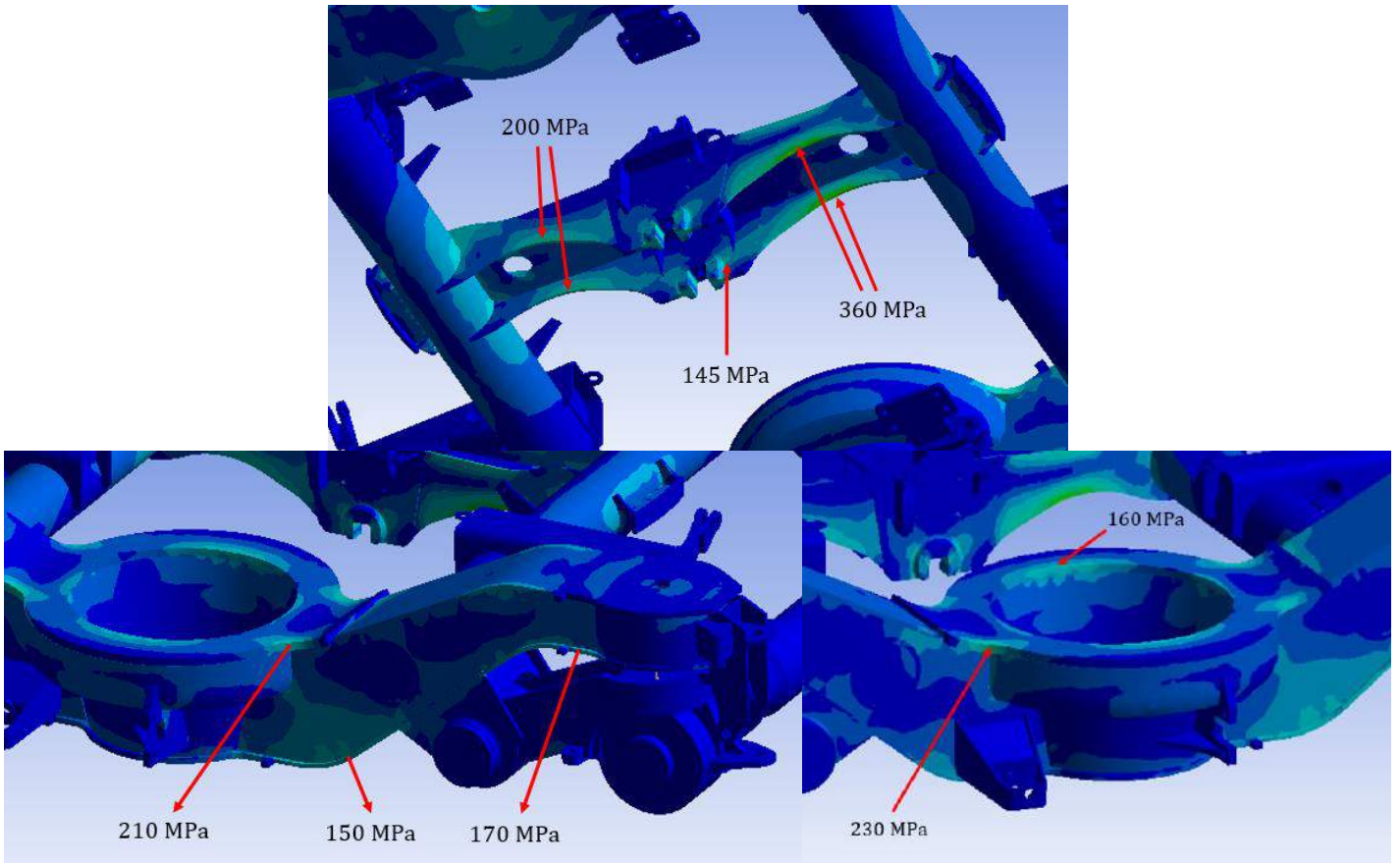


### 4.3.3. Gerilme Sonuçları

Analiz sonuçlarında eşdeğer gerilme (von-Mises) değerlerine bakılmıştır (Şekil 25).



Şekil 25. Gerilme sonuçları genel görünüm (Aşırı Yük Durumu 3)

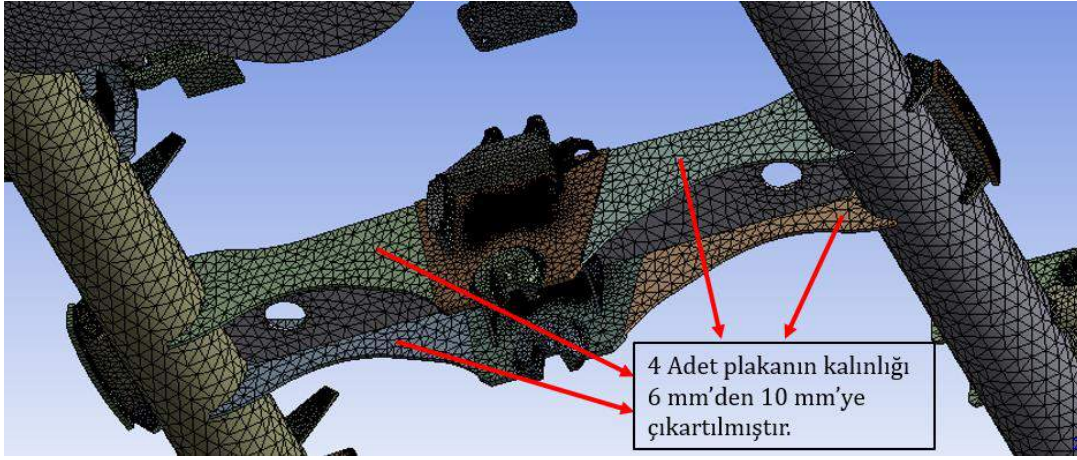


Şekil 26. Gerilme sonuçları detaylı görünüm (Aşırı Yük Durumu 3)

Aşırı yük durumu 3'te maksimum eşdeğer gerilme (von-Mises) değeri boylamsal orta kirişin alt bölgesinde 360 MPa'dır (Şekil 26). Bu değer malzemenin emniyetli gerilme değeri olan 325 MPa değerinin üzerinde olup, ilgili parça için iyileştirme yapılması gerekmektedir.

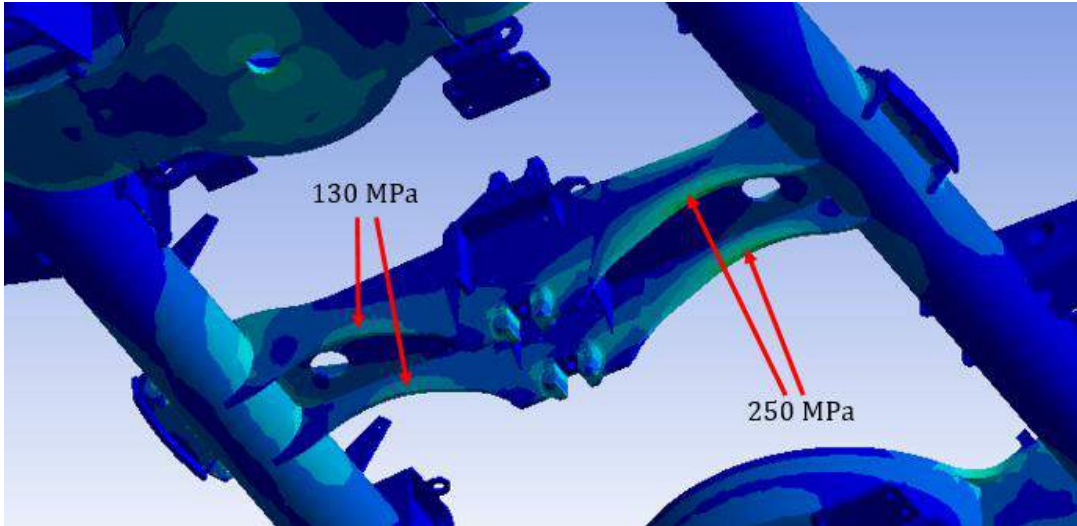
#### 4.3.4. Tasarım Değişikliği Önerisi

Şekil 27’te görüldüğü üzere boylamsal orta kirişteki gerilme değeri 360 MPa’dır. Bu değer kaynak yapılmış St52-3N plakasının akma değeri olan 325 MPa’nın üzerindedir. Bu neden ile 4 adet plakanın kalınlığı 6 mm’den 10 mm’ye çıkartılmıştır. Kalınlığı değiştirilen plakalar aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 27. Kalınlığı değiştirilen plakalar

Plaka kalınlıkları değiştirildikten sonra Aşırı Yük Durumu 3’ün analizi tekrarlanmıştır ve ilgili plakalardaki gerilme değerleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 28. Tasarım önerisinden sonraki gerilme değerleri

Şekil 28’te verilen görselden tasarım değişikliği öncesinde 360 MPa olan gerilme değeri tasarım değişikliğinden sonra 250 MPa değerine düştüğü anlaşılmaktadır.

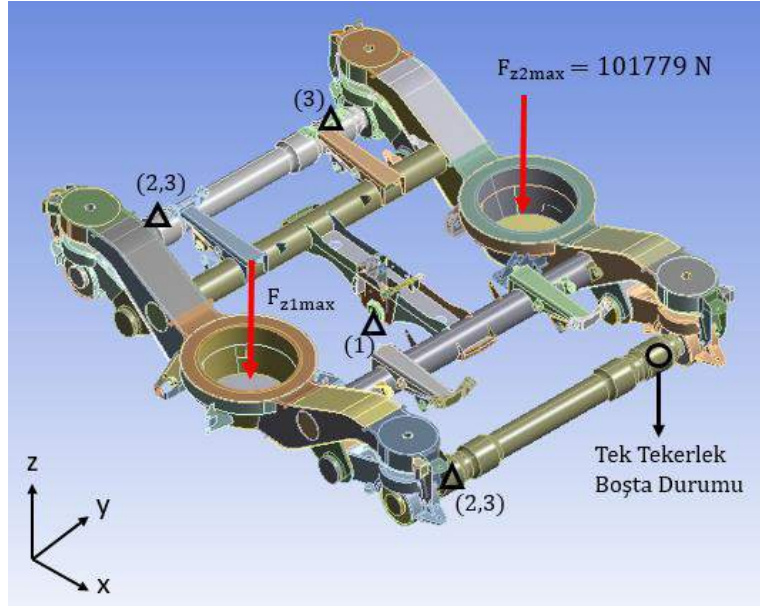
#### 4.4. Aşırı Yük Durumu 4

##### 4.4.1. Sınır Şartları ve Kuvvetler

Ansys Workbench programında aşağıda gösterilen sınır şartları ve kuvvetler uygulanmıştır (Şekil 29).

**Aşırı Yük Durumu 4** => Boş Aracın Düşey Kuvveti + Tek Tekerlek Boşta Durumu





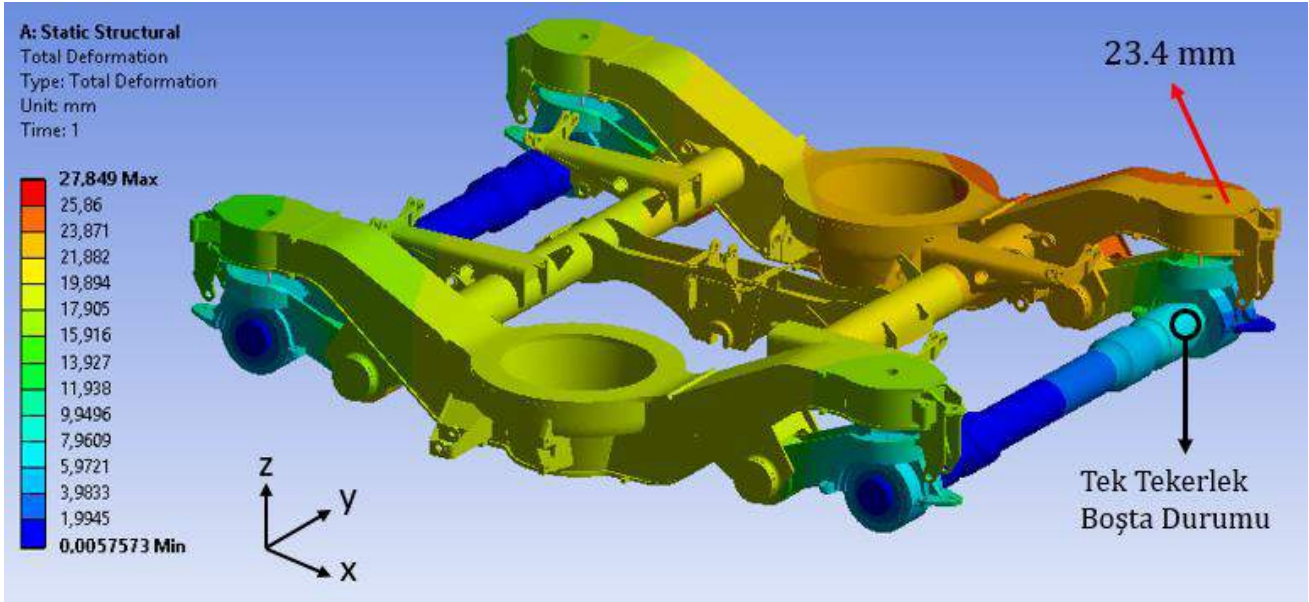
Şekil 29. Sınır şartları ve uygulanan kuvvetler (Aşırı Yük Durumu 4)

Analizlerde aşağıdaki koşullar uygulanır:

- (1) X, boji çekme sisteminin boylamsal yönde hareketi sabitlenir.
- (2) Y, aksların aynı taraftan yanal yönde hareketi sabitlenir.
- (3) Z, aksların düşey yönde hareketi sabitlenir.

#### 4.4.2. Deformasyon Sonuçları

Aşırı yük durumu 4'te maksimum deformasyon sonucu 27.8 mm'dir (Şekil 30).

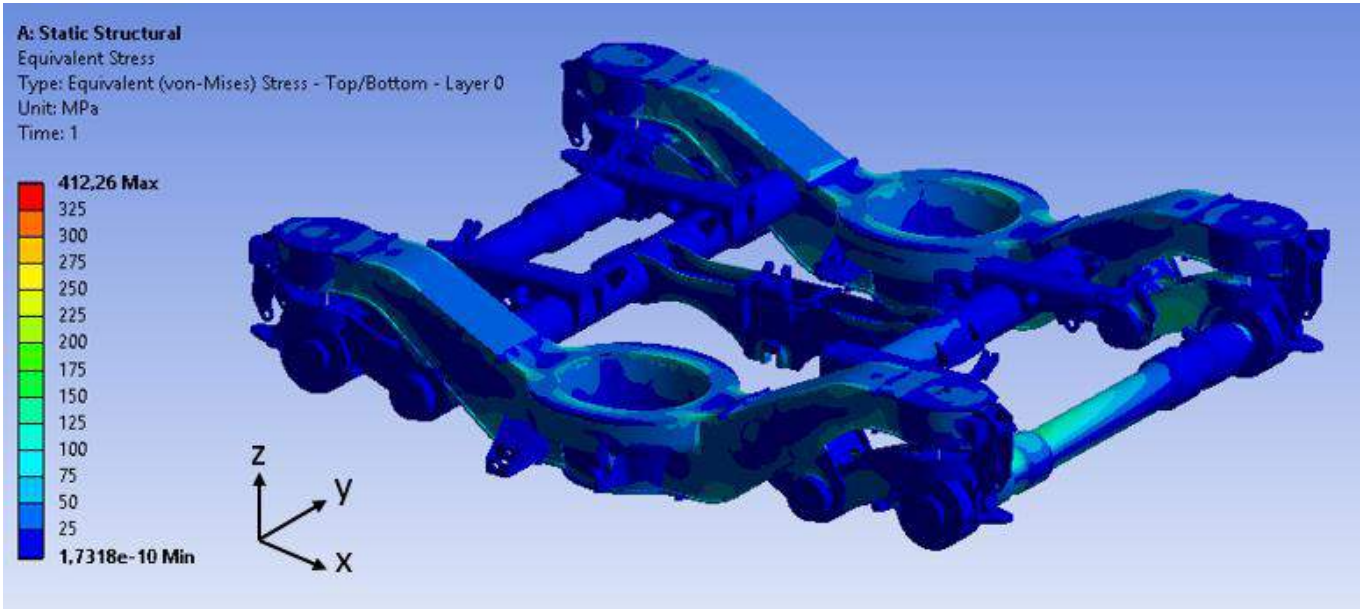


Şekil 30. Deformasyon sonuçları (Aşırı Yük Durumu 4)

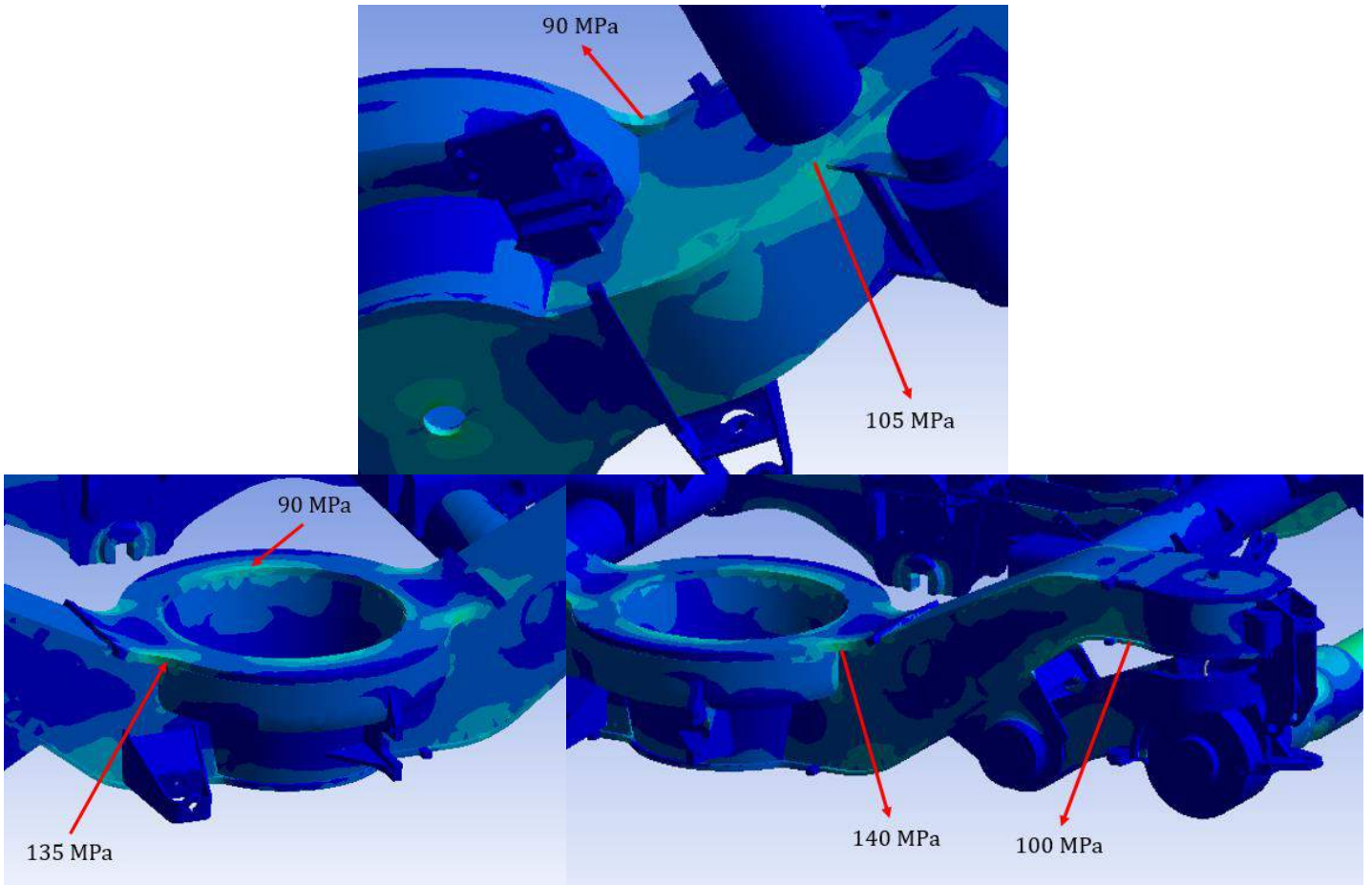


#### 4.4.3. Gerilme Sonuçları

Analiz sonuçlarında eşdeğer gerilme (von-Mises) değerlerine bakılmıştır (Şekil 31).



Şekil 31. Gerilme sonuçları genel görünüm (Aşırı Yük Durumu 4)



Şekil 32. Gerilme sonuçları detaylı görünüm (Aşırı Yük Durumu 4)

Aşırı yük durumu 4'te maksimum eşdeğer gerilme (von-Mises) değeri sağ boylamsal kirişte 140 MPa'dır (Şekil 32).

#### **4.5. Tartışma**

Sünek malzemelerde sonlu elemanlar analizi yaparken eşdeğer gerilme (von-Mises) değeri kullanılır. Gevrek malzemelerde ise asal gerilme değerlerini kullanmak daha uygundur. Y32 bojisinin plakalarında kullanılan çeliğin kalitesi St52-3N'dir. Bu nedenle statik analizlerde eşdeğer gerilme değeri kullanılmıştır. Bojinin statik analiz sonuçlarının TS EN 13749:2011 standardına göre kabul görmesi için malzemenin plastik deformasyona uğramaması gerekmektedir [11].

Gerilme sonuçlarının genel görünüm şekillerine bakıldığında, gerilme skalalarının akma gerilmesinin üzerinde olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, çözüm ağı uygulanan modelde tekillik bölgelerinin bulunmasıdır. Bu neden ile gerilme değerleri, tekilliğe neden olan bölgelerin biraz daha uzağından alınmıştır. Böylelikle daha doğru gerilme sonuçlarına ulaşılmıştır.

Aşırı Yük Durumu 3'te boylamsal orta kirişin maruz kaldığı gerilme değeri 360 MPa olarak çıkmıştır. St52-3N malzemesinden yapılmış ve birbirine kaynak ile montajlanmış plakaların akma gerilmesi 325 MPa'dır. Bu nedenle ilgili bölgedeki plakaların kalınlığı 6 mm'den 10 mm'ye çıkartılmıştır. Bu yeni tasarım ile analiz tekrarlandığında gerilme değeri 250 MPa olarak elde edilmiştir. Diğer aşırı yük durumu analizlerinde herhangi bir gerilme değeri akma gerilmesinin üzerinde çıkmamıştır.

## 5. Sonuç

Raylı taşıtlarda kullanılan en kritik elemanlardan birisi olan boji şasisinin son derece güvenli tasarlanması ve imal edilmesi önemli bir gerekliliktir. Bunun için raylı sistemlerde güvenlik açısından katı kuralları içeren standartlar kullanılmaktadır. TS EN 13749 standardı Türkiye tarafından kabul edilen ve uygulanan bir standarttır. . Bu standart boji şasislerinin yapısal gerekliliklerini belirler.

Çalışmanın birinci bölümünde, Y32 bojisinin şasi ve ekipmanlarına dair statik analizler TS EN13749 standardı çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen analizleri doğrudan ilgilendirdiği için sonlu elemanlar yöntemi ve eşdeğer gerilme hakkında bilgiler verilmiştir. Ardından analiz edilen malzemelerin mekanik özellikleri anlatılmıştır. Y32 boji geometrisi analiz için 3 boyutlu olarak hazırlanmış ve ardından statik analizler gerçekleştirilmiştir.

Y32 Bojisinin statik analizlerinde 4 adet aşırı yük durumu incelenmiştir. En yüksek gerilme değeri Aşırı Yük Durumu 3 'te meydana gelmektedir. Aşırı Yük Durumu 3'te boylamsal orta kirişteki gerilme değeri 360 MPa olarak elde edilmiştir. Bu değer kaynak yapılmış St52-3N plakasının akma değeri olan 325 MPa'nın üzerindedir. Bu nedenle, 4 adet plakanın kalınlığı 6 mm'den 10 mm'ye çıkartılmıştır. Analizde bulunan gerilme değeri ilgili plakalarda plastik deformasyona neden olacağı için boji tasarımının revize edilmesi önerilmiştir. . Önerilen yeni tasarım için analiz tekrarlandığında gerilme değeri 250 MPa olarak elde edilmiştir. Böylece, aşırı yük senaryoları altında gerçekleştirilen statik analizler çerçevesinde Y32 boji şasisi TS EN 13749 standardının gerekliliklerini karşılamaktadır.

## Kaynakça

- [1] S. Sabırlı, "Bir Raylı Taşıt Bogisinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Yorulma Analizi" Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2012.
- [2] Y. Zhang, P. Wu, Y. Song, "Strength Test and Modal Analysis for a Standardized High-Speed EMU Motor Bogie Frame", ICSMIM2015 Conference, 1128-1132.
- [3] C. Bhadrarai, "Stress Analysis of Bogie Frame Structure", Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Blekinge Institute of Technology, Karlskrona, İsveç, 2017.
- [4] S. Haldar, R. Verma, "Analysis of Bogie Frame Manufactured with Different Processes", International Journal of Mechanical Engineering, 4 (5):22-26, 2017.
- [5] W. Tang, "Fatigue Strength and Modal Analysis of Bogie Frame for DMUs Exported to Tunisia", Journal of Applied Mathematics and Physics, 342-348, 2014.
- [6] J. Dizo, J. Harusinec, M. Blatnický, "Structural Analysis of a Modified Freight Wagon Bogie Frame", MATEC Web of Conferences 134, 00010, 2017.
- [7] A. Cera, "Analysis of methodologies for fatigue calculation for railway bogie frames", Trenitalia S.P.A., Floransa, İtalya.
- [8] J. Dai, "The Design of Bullet Train Process Bogie and the Finite Element Analysis of Frame Strength", International Conference on Material Science and Application, 926-931, 2015.
- [9] J. Kim, N. Kim, "Structural Assessment for Bogie Frame of 180 km/h Korean Tilting Train", Key Engineering Materials, 297(300): 345-350, 2005.
- [10] H. Huang, L. Chen, "Strength Simulation of a Railway Bogie Frame based on EN 13749", Journal of Technology, 33(4): 209-214, 2018.
- [11] European Committee for Standardization, "EN 13749 : 2011 Railway Applications – Wheelsets and Bogies – Method of Specifying the Structural Requirements of Bogie Frames." Brüksel, Belçika, 2011.
- [12] Trains of Turkey, "TVS 2000 Cars", <http://www.trainsofturkey.com/index.php/Cars/TVS2000> (15.01.2019 tarihinde alınmıştır.)
- [13] Material Properties Database, "S355J2G3", <https://www.makeitfrom.com/material-properties/EN-1.0570-S355J2G3-Non-Alloy-Steel> (10.02.2019 tarihinde alınmıştır.)
- [14] Material Properties Database, "GE240", <https://www.makeitfrom.com/material-properties/EN-1.0446-GE240-Cast-Non-Alloy-Steel> (10.02.2019 tarihinde alınmıştır.)
- [15] European Committee for Standardization, "Railway applications - Wheelsets and bogies - Axles - Product requirements." Brüksel, Belçika, 2010.
- [16] "Element Quality", <http://research.me.udel.edu/~lwang/teaching/MEx81/ansys56manual.pdf> (17.02.2019 tarihinde alınmıştır.)
- [17] European Committee for Standardization. "EN 15663 : 2017 Railway applications – Definition of Vehicle Reference Masses" Brüksel, Belçika, 2017.



# VMAT Tekniği ile Hazırlanan Prostat Radyoterapi Planlarında Farklı Kolimatör Açılarının Etkisi

Hazım Orhan Kizilkaya<sup>1\*</sup>, Yonca Yahşi Çelen<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Şişli Hamidiye Etfal Training and Research Hospital, Department of Radiation Oncology, İstanbul-Turkey (ORCID: 0000-0001-6946-7539)

<sup>2</sup> Afyonkarahisar University of Health Sciences, Department of Radiation Oncology, Afyonkarahisar-Turkey (ORCID: 0000-0002-2869-664X)

(First received 27 August 2019 and in final form 27 October 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.612179)

**ATIF/REFERENCE:** XXXX, X., & XXXX, X. (2019). The Effect of Different Collimator Angles in Prostate Radiotherapy Plans with Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT) Technique. *European Journal of Science and Technology*, (17), 388-394.

## Öz

Bu çalışmada, Şişli Hamidiye Etfal Eğitim ve Araştırma Hastanesi Radyasyon Onkolojisi kliniğinde radyoterapi tedavisi alan 10 prostat kanseri hastası için tedavi planlarında farklı kolimatör açıları kullanılarak tümör ve kritik organ dozlarındaki farklılıkların karşılaştırılması amaçlanmıştır. Varian marka Trilogy model lineer hızlandırıcı cihazı ile tedavi edilen 10 prostat kanseri hastasının planları, Eclipse (ver.15.3) tedavi planlama sisteminde çift alan Hacimsel Ayarlı Radyoterapi (VMAT) planlama tekniği kullanılarak değerlendirildi. VMAT tekniğinde kolimatör açıları saat yönünde (CW) ve saat yönünün tersine (CCW) 30°-330° iken tedavi planları yapıp doz dağılımları elde edildi. Optimizasyon değerleri değiştirilmeden kolimatör açıları VMAT hesaplarında CW ve CCW (15°-345°, 45°-315°, 60°-300°, 75°-285°, 90°-270°) olacak şekilde değiştirilerek tekrardan hesaplatılarak kritik organ ve hedef organ doz dağılımları elde edildi ve kolimatör açısının doz dağılımı üzerindeki etkisi incelendi. En iyi doz dağılımını elde ettiğimiz kolimatör açıları VMAT tekniği için belirlendi ve istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı değerlendirildi. İstatistiksel olarak anlamlı olan tedavi planlarının Elektronik Portal Görüntüleme Cihazı (EPID) ile kalite kontrolleri yapıldı ve sonuçlar lineer hızlandırıcıdaki her hasta için doz ölçümleri yapılarak % 3 doz farkı ve 3 mm mesafe farkı kriteri ile karşılaştırıldı. Prostat kanseri hastalarının radyoterapi tedavisi için optimal doz dağılımını sağlayan kolimatör açısının hem istatistiksel olarak hem de yapılan ölçümler sonucunda tutarlı olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Kolimatör açısı, Hacimsel Ayarlı Radyoterapi, Elektronik portal görüntüleme cihazı, Prostat kanseri

## The Effect of Different Collimator Angles in Prostate Radiotherapy Plans with Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT) Technique

### Abstract

The aim of this study was to compare the differences in tumor and critical organ doses by using different collimator angles in the treatment plans of 10 prostate cancer patients who received radiotherapy treatment in the Radiation Oncology Clinic of Şişli Hamidiye Etfal Training and Research Hospital. The plans of 10 prostate cancer patients treated with the Varian Trilogy model linear accelerator were evaluated using the double field Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT) planning technique in the Eclipse (ver.15.3) treatment planning system. In VMAT technique, treatment plans were made when the collimator angles were clockwise (CW) and counter clockwise (CCW) 30°-330°. Critical organs and target organs are re-calculated by changing CW and CCW (15°-345°, 45°-315°, 60°-300°, 75°-285°, 90°-270°) in VMAT calculations without changing the optimization values. Dose distributions were obtained and the effect of collimator angle on dose distribution was examined. The collimator angles, which we obtained the best dose distribution, were determined for VMAT technique and evaluated for statistical significance. Quality control of the statistically significant treatment plans was performed with Electronic Portal Imaging Device (EPID) and the results were compared with 3% dose difference and 3 mm distance difference criteria for each patient in linear accelerator. It was found that the collimator

\* Corresponding Author: Şişli Hamidiye Etfal Training and Research Hospital, Department of Radiation Oncology, İstanbul-Turkey, ORCID: 0000-0001-6946-7539, [orhankizilkaya959@yahoo.com](mailto:orhankizilkaya959@yahoo.com)



angle which provides optimal dose distribution for the treatment of prostate cancer patients was consistent both statistically and as a result of measurements.

**Keywords:** Collimator Angle, Vmat, Epid, Prostate cancer

## 1. Introduction

Cancer disease is one of the most common health problems in recent years. Prostate cancer has been one of the most common types of cancer in men after lung cancer, with one of the highest mortality rates (after lung and colorectal cancers). The mean age at diagnosis was 72 years; however, with the development of follow-up and screening methods, it is diagnosed at a younger age. The American Cancer Society (ACS) recommends annual prostate specific antigen (PSA) and prostate examinations after the age of 50 years. The incidence of prostate cancer increases with age. Prostate cancer development rate in men under 39 years is 1 / 10,000, 40 to 59 years of age is between 1/103, 60 to 79 years of age is 1/8. In autopsy studies, approximately 30% of men over 50 years of age and 60-70% of men over 80 years of age develop prostate cancer, while 10% of men develop prostate cancer throughout life [1, 2].

Although the factors that cause the occurrence of prostate cancer can not be determined with certainty, some risk factors that are effective in the formation of prostate cancer have been identified. These factors can be listed as heredity, age, race, diet and chemicals. There are three basic diagnostic tools used to diagnose prostate cancer. These include digital rectal examination (DRM), PSA level determination and transrectal ultrasound (TRUS) [3]. Radical treatment options for the treatment of localized prostate cancer; surgery, external radiotherapy and brachytherapy.

Radical prostatectomy (RP) is the name given to the surgical treatment of prostate cancer. The prostate and seminal vesicles are removed from the bladder and urethra. Adequate surrounding tissue should be removed to ensure surgical margin negativity. Bilateral lymphatic dissection is often performed. Radiotherapy (RT), applied alone or as part of treatment in 60% of patients diagnosed with cancer, is effective by preventing or destroying the proliferation of cancer cells using ionizing radiation [4-5-6].

The main objective in radiotherapy planning is to minimize the exposure of the surrounding tissues to radiation while providing the necessary dose to the target volume. In this way, it is ensured that the control of the tumor is maintained and the quality of life is not affected [7].

As a result of advances in radiotherapy in recent years, conventional radiotherapy has been replaced by Intensity Modulated Radiotherapy (IMRT) and VMAT techniques. These techniques provide better conformity in the target region and allow the organ at risk receive the minimum dose. With IMRT and VMAT techniques, irradiated radiotherapy areas or arcs-based fixed control points applied at different densities using non-uniform beams can achieve the desired dose distribution within the target volume. A plurality of beam combinations of varying intensity can be optimized to produce higher tumor control and lower normal tissue side effects [5].

The aim of this study is to find the best collimator angle, which is consistent with both the statistical and the measurements, which provides the most appropriate dose distribution for the treatment of radiotherapy of prostate cancer patients.

## 2. Material Method

Ten prostate cancer patients undergoing radiotherapy (radiation treatment) in Şişli Hamidiye Etfal Training and Research Hospital were included in the study. Patients were treated with VMAT technique using 6 MV photon energy in a Varian Trilogy model linear accelerator. Patients should be hospitalized in the most comfortable and stable position during computed tomography (CT), since they have to lie in the same position each day during the treatment period. To achieve this, immobilization devices are used in tomography of patients; In the supine position, the hands were clamped on the chest, and the bladder was filled using a wedge below the knee, and the tomography images were taken with the rectum empty.

CT section images were transferred to the treatment planning system with DICOM. Before the treatment, CT, Positron Emission Tomography- Computed Tomography (PET-CT) and Magnetic Resonance Imaging (MRG) images obtained from CT sections are transferred to Eclipse (Version 15. 3) treatment planning system and treatment volumes and critical organ volumes are drawn and dose definition is made. For the treatment plans prepared by VMAT technique, the dose prescription was given to the patients 78Gy was applied in total. The dose rate was selected as 600 MU. 95% of PTV was given normalization to receive the full dose. Tolerance dose values have been defined on the optimization page to provide the dose values we want to receive planned target volume (PTV) and the allowable dose limits for critical organs. 6500 cGy area of the rectum volume was kept below 17%, 4000 cGy area of the rectum volume was kept below 35%. The 90% isodose line did not cover more than half of the rectum in any of the axial sections and the 50% isodose line did not cover the entire rectum in any of the axial sections. 6500 cGy area of the bladder volume was kept below 25%, 4000 cGy area volume was kept below 50% and femoral head doses were below 10% of 5000 cGy area volume and 1500 cGy area volume of Penis bulb dose was 90% optimization parameters were determined.

During optimization, priority values indicating the order of priority to be given while trying to provide the specified dose values for PTV and critical organs were entered on the optimization page. In VMAT technique, treatment plans were made when the collimator angles were clockwise CW and counter clockwise CCW 30° -330°. Critical organs and target organs are re-calculated by changing CW and CCW (15°-345°, 45°-315°, 60°-300°, 75°-285°, 90°-270°) in VMAT calculations without changing the optimization values.



dose distributions were obtained. Before treatment, images taken with electronic portal imaging devices or manual port films are compared with anatomical references in images from the treatment planning system (TPS). Corrections are made automatically or manually if necessary. In addition, the treatment area with kilovoltage (kV) or Cone Beam Computed Tomography (CBCT) is verified and set-up errors are minimized.

The dose values of the target volume and critical organs take from the dose-volume histograms of the treatment plans, MINITAB program were used and the t-test was used for the matched data in table 1. The relevant p values (significance) are given in the table 2, 3, 4, 5, 6.

In the treatment of VMAT prostate patients, tumor volume and dose volume histograms for critical organs were evaluated and the best collimator angle was selected. The statistical significance of this collimator angle was tested and the consistency of the treatment plans made in this collimator angle on the applicability of the linear accelerator was checked. The 3% dose difference was subjected to a 3 mm distance difference test to see to what extent the results overlap.

CT images of 10 selected prostate cancer patients were screened at the 3 mm cross-sectional intervals and transferred to the treatment planning system. Target structures using these CT images were contouring for gross tumor volume (GTV) and cilinical target volum (CTV), PTV, and critical organs. As shown in figure 1 and figure 2, treatment plans were developed using Rapid Arc (ARC) tecniqe and the collimator angles without changing the optimization parameters. The plans of the treated patients were evaluated with the Varian Trilogy linear accelerator in the Eclipse (ver. 15. 3) treatment planning system.

In this study, the treatment planning of 10 prostate cancer patients with radiotherapy treatment was calculated by dual-field VMAT techniques while the collimator angle was 30°-330° and optimum dose distribution was obtained. The treatment plans were recalculated and the effect of the collimator angle on the dose distribution was examined. It was investigated whether the collimator angle we obtained the best dose distribution was statistically significant. Statistically significant treatment plans were performed with EPID and the results were compared with 3% dose difference and 3 mm distance difference criterion by performing dose measurements for each patient in the linear accelerator. Patients were treated with Image Guided Radiotherapy (IGRT) by online correction with CT every day.

### 3. Results and Discussion

When planning with double-area VMAT technique, when 60°-300° and 75°-285° collimator angles were given, it was obtained that PTV covered better than the other angles considering 95% dose coverage. In the bladder doses of critical organ doses, while the collimator angles were 15°-345°, some dose drops were observed, while for rectal doses, the dose of collimator angles was 75°-285°. However, all dose reductions were below 0.5% and within Quantec dose limits. The results obtained from the double-area VMAT technique at 75°-285° collimator angles were obtained by using the Epid measurement system quality control program. When the index (3% dose difference, 3 mm distance difference) were considered, the calculation and measurement results of each plan critical and target organs were compared. For PTV. index pass rate was found to be 98.9 % ± 0.7. If 75°-285° collimator angles were selected in the double-area VMAT technique for prostate cancer patients, treatment plans were calculated and the results were obtained as a result of calculations and measurements that would contribute to critical organ doses and target volume doses.



Figure 1. Treatment areas of planned prostat cancer patient with VMAT technique.

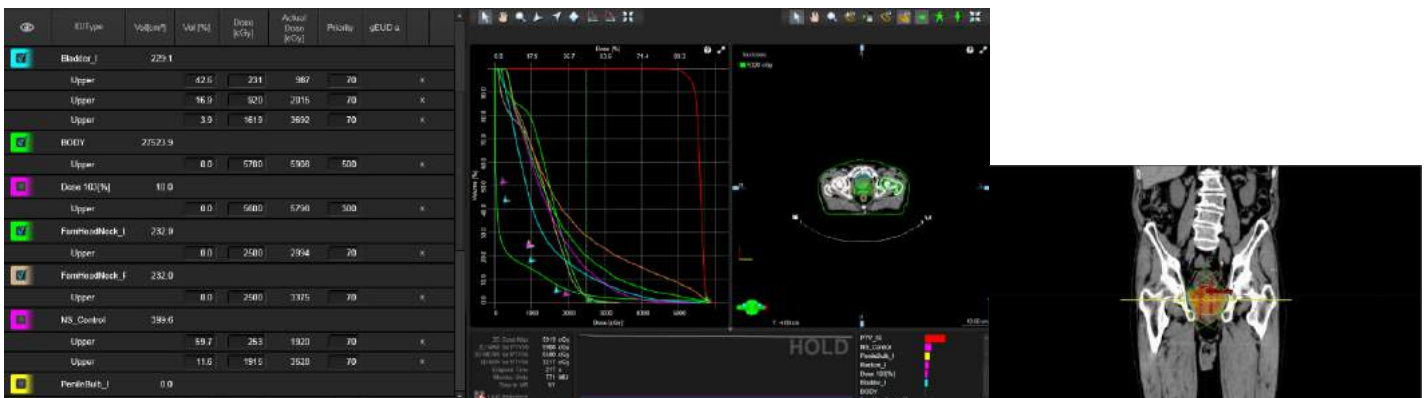


Figure 2. Optimization window and dose volume histogram

Results of the target volume doses, intact organ doses and t-test results of the 10 patients with prostate cancer who were treated with Varian Trilogy model linear accelerator in the Radiation Oncology Department of Şişli Hamidiye Etfal Training and Research Hospital by changing the collimator angles with the double-area VMAT method, and the results of the t-test for the matched data it is available.

Table 1. Dose covering 95% of 10 PTV by double-field VMAT technique, 40 Gy area percentage of bladder, 65 Gy area percentage of bladder, 40 Gy area percentage of rectum, 65 Gy area percentage of rectum.

	30°-330° Collimator angle is used	15°-345° Collimator angle is used	45°-315° Collimator angle is used	60°-300° Collimator angle is used	75°-285° Collimator angle is used	90°-270° Collimator angle is used
The amount of dose that covers 95% of PTV with VMAT (cGy)	7825,2±251	7833,1±230	7878,7±270	7882±220	7883,4±225	7860,2±260
40 Gy area percentage of bladder	20,37%±6,7	20,30%±6,5	20,45%±6,7	20,47%±6,9	20,57%±6,9	20,77%±6,8
65 Gy area percentage of bladder	9,90%±4,5	9,93%±4,3	10,6%±4,4	10,25%±4,5	11,2%±4,5	10,15%±4,3
40 Gy area percentage of rectum	22,10%±7,4	22,6%±7,1	22,18%±7,3	22,70%±7,3	21,5%±4,1	21,7%±7,1
65 Gy area percentage of rectum	8,62%±4	8,57%±3,9	8,73%±4	9,2%±4,1	9,1%±4,1	9,6%±4,1

Table 2. The t-test for matched data is the result of the statistical significance test of 95% of PTV relative to 30 ° -330 ° collimator angle of collimator angles by double-field VMAT technique.

Dose Amount Covering 95% of PTV with Dual Area VMAT				
Collimator Angles	Average of 10 patients	Collimator Angles	Average of 10 patients	P value
30° - 330°	7825,2±251	15° - 345°	7833,1±230	0,213
30° - 330°	7825,2±251	45° - 315°	7872,7±270	0,007
30° - 330°	7825,2±251	60° - 300°	7882±220	0,004
30° - 330°	7825,2±251	75° - 285°	7883,4±225	0,003
30° - 330°	7825,2±251	90° - 270°	7850,2±260	0,154

Table 3. Statistical significance test results of t-test for matched data of 40 Gy area percentage of bladder according to 30° -330° collimator angle of collimator angles by double-field VMAT technique.

40 Gy Field Percentage of Double Field Bladder				
Collimator Angles	Average of 10 patients	Collimator Angles	Average of 10 patients	P value
30° - 330°	20,37%±6,7	15° - 345°	20,30%±6,5	0,564
30° - 330°	20,37%±6,7	45° - 315°	20,45%±6,7	0,768
30° - 330°	20,37%±6,7	60° - 300°	20,47%±6,9	0,12
30° - 330°	20,37%±6,7	75° - 285°	20,57%±6,9	0,19
30° - 330°	20,37%±6,7	90° - 270°	20,77%±6,8	0,087

Table 4. Statistical significance test results of t-test for matched data of 65 Gy area percentage of bladder according to 30°-330° collimator angle of collimator angles with double-field VMAT technique.

65 Gy Field Percentage of Double Field Bladder				
Collimator Angles	Average of 10 patients	Collimator Angles	Average of 10 patients	P value
30° - 330°	9,90%±4,5	15° - 345°	9,93%±4,3	0,146
30° - 330°	9,90%±4,5	45° - 315°	10,6%±4,4	0,047
30° - 330°	9,90%±4,5	60° - 300°	10,25%±4,5	0,531
30° - 330°	9,90%±4,5	75° - 285°	11,2%±4,5	0,018
30° - 330°	9,90%±4,5	90° - 270°	10,15%±4,3	0,573

Table 5. Statistical significance test results of t-test for matched data of 40 Gy area percentage of rectum according to 30° -330° collimator angle of collimator angles by double-field VMAT technique.

40 Gy Field Percentage of Double Field Rectum				
Collimator Angles	Average of 10 patients	Collimator Angles	Average of 10 patients	P value
30° - 330°	22,10%±7,4	15° - 345°	22,6%±7,1	0,659
30° - 330°	22,10%±7,4	45° - 315°	22,18%±7,3	0,268
30° - 330°	22,10%±7,4	60° - 300°	22,70%±7,3	0,793
30° - 330°	22,10%±7,4	75° - 285°	21,5%±4,1	0,623
30° - 330°	22,10%±7,4	90° - 270°	21,7%±7,1	0,822

Table 6. Statistical significance test results of t-test for matched data of 65 Gy area percentage of rectum according to 30 ° -330 ° collimator angle of collimator angles by double-field VMAT technique.

65 Gy Field Percentage of Double Field Rectum				
Collimator Angles	Average of 10 patients	Collimator Angles	Average of 10 patients	P value
30° - 330°	8,62%±4	15° - 345°	8,57%±3,9	0,332
30° - 330°	8,62%±4	45° - 315°	8,73%±4	0,219
30° - 330°	8,62%±4	60° - 300°	9,2%±4,1	0,004
30° - 330°	8,62%±4	75° - 285°	9,1%±4,1	0,042
30° - 330°	8,62%±4	90° - 270°	9,6%±4,1	0,068

## 4. Conclusions

This work explores the impact of different collimator angles on a dosimetric scoring function. Collimator angle selection could play a vital role in improving the plan quality of VMAT for treating patients with prostate cancer. This study found that MLC rotation affects VMAT plan complexity and PTV dosimetric distribution.

This study identified the optimum collimator angles for optimizing dosimetric distribution for planning target volume (PTV), sparing of organs at risk (OARs), and plan complexity. The findings of this study could help planners to select appropriate collimator angles to obtain optimum results [8, 9].

If treatment plans are calculated by selecting collimator angles of 75°-285° in double-field VMAT technique for prostate cancer patients, the results were calculated as a result of calculations and measurements that will contribute to critical organ doses and target volume doses. When t-test was applied for the matched data for the double-field VMAT technique, the dose including 95% of the PTV volume was obtained as  $p = 0.003$  for the collimator angles of 75 ° -285 ° with respect to the collimator angle of 30 ° -330 °, a statistically significant result obtained.

Kim et al. reported that the collimator angle  $\gamma$  index value. In the collimator angles we determined, it was obtained as a result of the measurements in which the index value was within the acceptance limits in the treatment of dual-area VMAT. With the obtained dual-field VMAT technique, we obtained the measurements at 75 ° -285° collimator angles  $\gamma$  index (3% dose difference, 3 mm distance) measurement results were taken into consideration [10].

Isa et al. were found to have a better coverage of PTV than the other angles when 95% dose coverage was taken into consideration when patients were given collimator angles of 60°-300° and 75°-285° when planning with dual field VMAT technique It was observed that the angle of the collimator providing optimal dose distributions for radiotherapy treatment of prostate cancer patients was consistent both statistically and as a result of the measurements made [11].

The results of our study could serve as a guide for collimator angle selection with regard to PTV dosimetric distribution, plan complexity, and the sparing of OARs in prostate VMAT planning.

## References

- [1] Çakır A, Ağaoglu F, Şahin B, Okutan M, Dizdar Y, Darendeliler E. [2009]. Prostat kanserinin radyoterapisinde konformal radyoterapi tekniklerinin değerlendirilmesi. *Türk Onkoloji Dergisi* 24(4): 166-171.
- [2] Beyzadeoğlu MM, Ebruli C. [2008]. *Temel Radyasyon Onkolojisi*. GATA Yayın.
- [3] Geara FB, Zagars GK, Pollack A. [1994]. Influence of initial presentation on treatment outcome of clinically localized prostate cancer treated by definitive radiation therapy. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys* 30(2): 331-337
- [4] Chao KS, Perez CA, Brady LW. [2004]. *Radyasyon Onkolojisi Tedavi Kararları*. Nobel Tıp Kitabevleri, İstanbul.
- [5] Khan FM. [2003]. *The Physics of Radiation Therapy*. 3rd Edition. Baltimore: Lippincott Williams and Wilkins
- [6] Günay, O. Aközcan, S. [2018]. Bina İçi Radon Konsantrasyonlarının Belirlenmesi, *European Journal of Science and Technology* 13: 91-97. DOI: 10.31590/ejosat.442702
- [7] Perez C. A., Brady L. W., [1992]. *Principles and Practice of Radiation Oncology*. Lippincott Company 2: 595-606.
- [8] Li, MH. Huang, SF. Chang, CC. Lin, JC. Tsai, JT. [2018]. Variations in dosimetric distribution and plan complexity with collimator angles in hypofractionated volumetric arc radiotherapy for treating prostate cancer. *Journal of Applied Clinical Medical Physics* 19:2:93-102
- [9] Isa, M., Rehman, J., Afzal, M., Chow, JCL. [2014]. Dosimetric dependence on the collimator angle in prostate volumetric modulated arc therapy. *International Journal of Cancer Therapy and Oncology* 2(4):020419

- [10] Kim YH., Park HR., Kim WT., Kim DW., Ki Y., Lee J., Bae J., Park D. [2004]. Effect of the collimator angle on dosimetric Verification of the Volumetric Modulated Arc Therapy. *Journal of the Korean: 4-6.*
- [11] Isa M., Rehman J., Afzal M., Low DA., Chow JCL. [2004]. Dosimetric dependece on the collimator angle in prostate volumetric modulated arc therapy. *IFMBE Proceeding 51: 384-387.*





## Y32 Bojisinin Yapısal Analizleri, Bölüm 2: Yorulma Analizleri

Oğuzhan Konez<sup>1</sup>, Muzaffer Metin<sup>21\*</sup>, Özgür Demir<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9724-3433)

<sup>3</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0865-0684)

(İlk Geliş Tarihi 9 Ağustos 2019 ve Kabul Tarihi 27 Ekim 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.604857)

**ATIF/REFERENCE:** Konez, O., Metin, M. & Demir, Ö. (2018). Y32 Bojisinin Yapısal Analizleri, Bölüm 2: Yorulma Analizleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 395-411.

### Öz

Demiryolu taşıtlarında kullanılan ve yoğun dinamik etkiler altında kalması nedeniyle katı regülasyonlar çerçevesinde tasarlanıp üretilen bojiler, sistemin güvenli sürüş şartlarını sağlaması açısından oldukça önemli elemanlardır. Bojilerin yapısal gerekliliklerini ortaya koyan ve dünyada en çok kullanılan uluslararası standart EN 13749 standardıdır. Bu çalışmanın birinci bölümünde Y32 boji şasisinin aşırı yük durumlarındaki statik analizleri gerçekleştirilmiş ve sınır değerleri aşan bölgeler için gerekli yapısal önlemler önerilmiştir. İki bölümden oluşan bu çalışmanın ilgili bölümünde ise, normal servis yüklemeye durumundaki yorulma analizleri yapılarak EN 13749 standardınca uygunluğu araştırılmıştır. Dinamik sistem elemanlarında meydana gelen kırılmaların %80'ninin yorulma nedeniyle olduğu bilinmektedir. Çalışmanın birinci bölümünde üç boyutlu, basitleştirmeye gidilmeden gerçekçi bir katı modelin ve çözüm ağı yapısının nasıl oluşturulduğundan bahsedilmiştir. Kurulan modele bu bölümde yorulma analizleri için EN 13749 standardına uygun şekilde sınır şartları ve kuvvetler uygulanmıştır. Analizlerde, Yük Durumu 2, Yük Durumu 5 ve Yük Durumu 7 olmak üzere üç farklı normal servis yüklemesi ele alınmıştır. Bunlardan ikisinin aynı anda sisteme etki etmesi durumlarını içeren 3 farklı durum için yorulma analizleri gerçekleştirilmiştir. Her analizde bojinin iki farklı durum altında 1 milyon adet çevrim sayısına ulaşmış ulaşmadığına bakılmıştır. Yorulma analizlerinde her düğüm noktasına karşılık gelen ortalama gerilme ve gerilme genliği çıkartılmış ve bu sonuçlar Haigh Diyagramı'nda değerlendirilmiştir. Buna ek olarak, yorulma analizi Ansys Workbench programında Goodman Diyagramı kullanılarak da çözdürülmüştür. Böylece, literatürde kullanılan iki farklı yöntemle Y32 boji şasi tasarımının normal servis yüklemeye durumlarında EN 13749 standardının gereklilikleri yorulma bakımından araştırılmış ve bulgularda elde edilen değerler yorumlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Y32 Bojisi, Statik Analiz, Servis Yükleme, Yorulma Analizi, Haigh Diyagramı, Goodman Diyagramı

## Structural Analysis of Y32 Bogie, Part 1: Fatigue Analysis

### Abstract

The bogies, which are designed and produced within the framework of rigid regulations, are very important elements in terms of ensuring safe driving conditions of the system because of being subjected to intense dynamic effects in railway vehicles. EN 13749 is the most widely used international standard in the world which sets out the structural requirements of bogies. In the first part of this study, static analyzes of the Y32 bogie chassis in overload conditions have been performed and necessary structural measures have been proposed

<sup>1</sup> Sorumlu Yazar: Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0002-9724-3433, [mmetin@yildiz.edu.tr](mailto:mmetin@yildiz.edu.tr)

for the regions exceeding the limit values. In this part of this study consisting of two series, the fatigue analysis under normal service load condition has been carried out and its conformity to EN 13749 standard has been investigated. It is believed that 80% of fractures in dynamic system elements are due to fatigue. Fatigue analysis is used to understand the cycle life of dynamic system elements. In the first part of the study, a three-dimensional, realistic solid model and solution network structure without simplification have been discussed. In this section, boundary conditions and forces have been applied to fatigue analysis in accordance with EN 13749 standard. In the analyzes, three different normal service loadings, Load Case 2, Load Case 5 and Load Case 7, have been considered. Fatigue analyzes have been performed for 3 different situations. Two of loading case have been acting together on the system for all situation. In each analysis, it has been checked whether the bogie could reach 1 million cycles under two different loading cases. In fatigue analysis, mean stress and alternating stress results of each node have been deduced and these results have been evaluated on the Haigh Diagram. In addition, fatigue analysis has been also solved using the Goodman Diagram in the Ansys Workbench program. It has been investigated whether Y32 bogie frame design is convenient or not under normal service load cases according to EN 13749 standard for the fatigue analysis and the values obtained in the findings have been interpreted.

**Keywords:** Y32 Bogie, Static Analysis, Service Load, Fatigue Analysis, Haigh Diagram, Goodman Diagram.

## 1. Giriş

19. Yüzyılın ortalarına kadar güvenlik faktörünün yüksek olması gereken tasarımlar dışında tekrar eden kuvvetlere veya dalgalı hareketlere statik yüklermiş gibi yaklaşmıştır. “Yorulma” (Fatigue) kavramından ilk defa 1839 yılında “Poncelet of France” adıyla basılan bir kitapta bahsedilmiştir. Modern otoriteler ise “İlerlemeli Kırılma” (Progressive Fracture) teriminin daha uygun olacağını öne sürmüşlerdir [1].

Yorulma nedeniyle meydana gelen kırılma ve kopmalar tekrar eden plastik deformasyonlar yüzünden oluşmaktadır. Bir teli ileri geri bükerek onu koparmamız buna örnek gösterilebilir. Tekrar eden plastik deformasyonlar olmadan yorulma kopmaları meydana gelmez. Bir tele birkaç defa plastik deformasyon uygularsanız o teli koparabilirsiniz fakat genelde yorulma kopmaları binlerce hatta milyonlarca çevrimden sonra meydana gelir. Yorulma kopmaları malzemenin akma sınırının (yield stress) çok daha altında gerçekleşebilir. Yorulma nedeniyle meydana gelen kopmalar, yüksek gerilmelerin olduğu mikroskobik kırılma bölgelerinde oluşan plastik deformasyonlar ile başlar. Delikler, keskin köşeler, dış açılan yerler, kama yerleri ve korozyona uğrayan bölgeler yorulma dayanımı açısından zayıf bölgelerdir. Bu yüksek gerilmeli bölgeler her zaman geometrik olarak gerilme değerlerini yükseltici bir etkiye sahiptir. Kopan parçalar incelendiğinde kırığın ufak bir bölgeden başlayıp bu kırığın git gide ilerlediği ve parçanın kesit ölçüsünün gelen kuvvetleri taşıyamayıp gerilme değerinin kopma dayanımı (ultimate strength) noktasını geçerek parçanın tamamen koptuğu görülür. En son kopma gevrek (brittle) malzemelerin kopması şeklinde gerçekleşir. Yüksek stresli bölgeleri kuvvetlendirmek parçanın tümünü daha dayanıklı bir malzemedan yapmak kadar etkilidir. Bölgesel plastik deformasyon yeterince ufaksa, o bölgede gerinim sertleşmesi (strain-hardening) meydana gelebilir ve böylelikle plastik deformasyonun oluşması durabilir. Parça böylesi bir yükün uygulanmasından zarar görmeyebilir. Fakat bölgesel plastik deformasyon bundan yüksek ise bölge yumuşaklığını (ductile) kaybeder ve parçanın sürekli çevrimsel yüke maruz kalması yorulma kopmasının meydana gelmesine neden olur. Başlangıçta oluşan yorulma kırıkları bölgesel gerilme yoğunluğunu genelde artırır. Kırık ilerledikçe parçanın kesit ölçüsü düşmeye başlar ve maruz kalınan gerilme değerleri de git gide artar. Parça maruz bırakılan yüke mukavemet gösteremeyecek hale gelene kadar bu kırık büyür. Sonunda yorulma kopması gerçekleşir [1].

Son yüzyılda yapılan geniş araştırmalar yorulma mekanizması ile ilgili belli bir takım bilgileri bize sunmaktadır. Yorulma her çeşit makine elemanında meydana gelebileceği için bu konuda yoğun akademik araştırma mevcuttur. Ancak bojiler üzerine nitelikli araştırmaların sayısı sınırlıdır. Aşağıda boji üzerinde uygulanan analiz çalışmalarından bazıları anlatılmıştır. Sabırlı İstanbul’da kullanılacak olan bir tramvay bojisinin yorulma analizini gerçekleştirmiştir. Yorulma analizini TS EN 13749 standardına göre gerçekleştirmiş ve analiz sonuçlarını Haigh Diyagramı’nda değerlendirmiştir [2]. Cera, boji şasisinin yorulma analizlerini yapmışlardır. Analizler EN 13749 standardına göre yapılmış ve Ansys programı kullanılmıştır. Analizde kaynaklı bölgelere ayrıca önem gösterilmiştir. Farklı metodlarda yorulma analizleri uygulanmış ve hangisinin daha doğru sonuçlar verdiği araştırılmıştır [3]. Kim ve Kim bir yalpalı tren bojisinin yorulma analizini gerçekleştirmiştir. Yalpalı trenler kurplara girdikleri zaman daha hızlı hareket edecek şekilde tasarlanmışlardır. Yorulma analizinde Goodman Diyagramı kullanılmıştır. Yorulma analizindeki sonuçların diyagrama bakılarak uygun olduğu belirtilmiştir [4]. Huang ve Chen bir bojinin EN 13749 standardına göre yorulma analizini gerçekleştirmişlerdir. Buna ek olarak tren hızının bojinin yorulmadaki çevrim süresini nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Trenin hızı arttıkça bojinin yük çevrim ömrü de ciddi oranda azalmaktadır [5].

Bu çalışmanın ikinci bölümünün amacı ise, birinci bölümde aşırı yük durumlarında statik analizleri yapılan Y32 boji şasisinin normal servis yüklemeleri altında yorulma analizlerini gerçekleştirmek ve iki farklı diyagram kullanılarak elde edilen sonuçların EN 13749 standardına uygunluğunu araştırmaktır [6]. Bunun için, boji şasisinin üç boyutlu katı modeli çıkarılmış ve Ansys Workbench programında çözüm ağı (mesh) oluşturulmuştur. Analizler için boji geometrisinde herhangi bir basitleştirmeye gidilmemiştir. Boji şasisinde kullanılan malzemenin mekanik özellikleri belirlenmiştir. Standartta uygun şekilde sınır şartları ve kuvvetler uygulanmıştır. Üç farklı normal yük durumu ele alınmıştır. Bunlar ilgili standartta tarif edilen Yük Durumu 2, Yük Durumu 5 ve Yük Durumu 7’dir. Bu yük durumlarının ikili gruplar halinde sisteme etki ettiği üç farklı senaryo göz önünde bulundurularak yorulma analizleri gerçekleştirilmiştir. Yorulma analizinde her düğüm noktasına (node) karşılık gelen ortalama gerilme (mean stress) ve gerilme genliği (alternating stress) değerleri hesaplanmış, yorulma sonuçları Haigh Diyagramı’nda gösterilmiştir. Buna ek olarak yorulma analizi Ansys Workbench programına da çözdürülmüş. Sonuçlar ayrıca Goodman Diyagramı’nda da değerlendirilmiştir. Statik analizler sonucunda malzemelerin akma gerilmesine maruz kalıp kalmadığına bakılmıştır. Normal servis yükleme durumlarındaki analizlerde ise şasisinin en

az 1 milyon çevrim sayısına ulaşır ulaşamayacağı incelenmiştir. Y32 bojisine dair teknik bilgiler, hazırlanan üç boyutlu katı model bilgileri, çözüm ağı ve malzeme bilgileri çalışmanın birinci bölümünde tanıtılmıştır.

## 2. Metot

### 2.1. S-N Eğrisi (Wöhler Eğrisi)

Wöhler eğrisini 1842 yılında Alman bilim adamı August Wöhler Fransa'da (Versailles) gerçekleşen bir tren kazasını incelerken geliştirmiştir. Tren lokomotifinin aksı düşük gerilme altında çalışmasına rağmen günlük olarak sürekli çalıştığı için kırılmıştır. Wöhler aksların maruz kaldığı gerilme genliği ile çevrim sayısı arasında bir S-N eğrisi elde etmiştir. Bir çeliğin yorulma kopması yaşamadan maruz kalabileceği maksimum gerilme genliği değeri o çeliğin dayanım limitidir (endurance limit). Dayanım limitinin genel olarak kullanım sembolü  $S_n$  olarak geçer. Eğer bu dayanım limiti (endurance limit) belli bir test sonucu elde edilmiş ise  $S'_n$  sembolü kullanılır [1].

St52-3N malzemesinin 1 milyon çevrim sayısındaki yorulma dayanımı ( $S_n$ ) aşağıda hesaplanmıştır.

$$S_n = S'_n C_L C_G C_S C_T C_R \quad (1)$$

$C_L C_G C_S C_T C_R$  değeri 0.8 olarak alınmıştır [1].

$$S_n = 210 (0.8)$$

$$S_n \approx 170 \text{ MPa}$$

burada;  $C_L$  yük faktörünü,  $C_G$  ölçü faktörünü,  $C_S$  yüzey faktörünü,  $C_T$  sıcaklık faktörünü ve  $C_R$  güvenlik faktörünü temsil etmektedir [1].

### 2.2. Ortalama Gerilmenin Yorulma Dayanımına Etkisi

Makine veya yapı elemanları nadiren sadece tam değişken gerilmelere maruz kalırken genel olarak dalgalı bir gerilmeye maruz kalırlar. Bu gerilmeler statik gerilme ve tam değişken değerdeki gerilmelerin toplamından meydana gelir. Dalgalı gerilmeler ortalama gerilme ve gerilme genliği değerleri ile karakterize olurlar. Bunun yanında minimum ve maksimum gerilme değerleri ile de anılabilirler [1]. Ortalama gerilme ve gerilme genliği değerleri denklem (2) ve (3)'teki gibi elde edilir.

$$\sigma_{\text{ortalama gerilme}} = (\sigma_{\text{maksimum}} + \sigma_{\text{minimum}}) / 2 \quad (2)$$

$$\sigma_{\text{gerilme genliği}} = (\sigma_{\text{maksimum}} - \sigma_{\text{minimum}}) / 2 \quad (3)$$

### 2.3. Çok Eksenli Yorulma Analizi

Mühendislikte parçalar genel olarak çok eksenli yüklere maruz kalırlar. Bu parçalarda periyodik olarak hem normal gerilmeler hem de kayma gerilmeleri oluşur. von-Mises metoduna göre parça üzerindeki eşdeğer gerilme genliği ve eşdeğer ortalama gerilme değeri denklem (4) - (9) kullanılarak hesaplanabilir. 1 milyon çevrim sayısı için analiz yapıyorsanız aşağıdaki eşitlikler oldukça güvenilirdir [7].

$$\sigma_{\text{Eşdeğer gerilme genliği}} = \sqrt{\frac{(\sigma_{a,x} - \sigma_{a,y})^2 + (\sigma_{a,y} - \sigma_{a,z})^2 + (\sigma_{a,z} - \sigma_{a,x})^2 + 6(\tau_{a,xy}^2 + \tau_{a,yz}^2 + \tau_{a,zx}^2)}{2}} \quad (4)$$

$$\sigma_{\text{Eşdeğer ortalama gerilme}} = \sqrt{\frac{(\sigma_{m,x} - \sigma_{m,y})^2 + (\sigma_{m,y} - \sigma_{m,z})^2 + (\sigma_{m,z} - \sigma_{m,x})^2 + 6(\tau_{m,xy}^2 + \tau_{m,yz}^2 + \tau_{m,zx}^2)}{2}} \quad (5)$$

$$\sigma_{a,x} = (\sigma_{x,\text{yük durumu 2}} - \sigma_{x,\text{yük durumu 1}}) / 2 \quad (6)$$

$$\tau_{a,xy} = (\tau_{xy,\text{yük durumu 2}} - \tau_{xy,\text{yük durumu 1}}) / 2 \quad (7)$$

$$\sigma_{m,x} = (\sigma_{x,\text{yük durumu 2}} + \sigma_{x,\text{yük durumu 1}}) / 2 \quad (8)$$

$$\tau_{m,xy} = (\tau_{xy,\text{yük durumu 2}} + \tau_{xy,\text{yük durumu 1}}) / 2 \quad (9)$$



g	9,81 m/s <sup>2</sup>	Yerçekimi ivmesi
F <sub>x</sub>	13033 N	Boji üstüne gelen toplam boyuna kuvvet
F <sub>y</sub>	65162 N	Boji üstüne gelen toplam yanal kuvvet
F <sub>z</sub>	204244 N	Boji üstüne gelen toplam düşey kuvvet
$F_x = 0.05 \times (F_z + m^+g)$		
$F_y = \frac{(F_z + m^+g)}{4}$		
$F_z = (M_v + 1.2P_2 - 2 m^+)g/2$		

Y32 bojisi bir taşıyıcı bojidir. Her yolcu vagonunun altında iki adet boji bulunmaktadır. Bu nedenle bir vagonu dört adet aks taşımaktadır. Normal servis yüklemesi durumunda Y32 bojisinin aks yükü 12.8 ton olarak alınmıştır. Tablo 1’de kuvvet hesabında kullanılan boji parametreleri yer almaktadır.

Boyuna gelen kuvvetler tekerlekler (tekerleklerin bağlandığı aksa) uygulanır. Sağ yanal kirişe yakın olan tekerlere negatif yönde (x doğrultusunda) sol yanal kirişe yakın olan tekerlere pozitif yönde (x doğrultusunda) kuvvet uygulanır. Yanal kuvvetler her iki aksa da uygulanır. Düşey kuvvetler ise bojinin sağ ve sol olarak iki boylamsal yan kirişinde (ikincil süspansiyonların bastığı bölgeye) uygulanır [6].

%0.5 Burulma Durumu bojinin tekerleklerinden bir tanesinin diğer üçüne göre %0.5 oranında yukarı yönde yükselmesi durumudur [6]. Bojinin iki aksı arasındaki mesafe 2560 mm’dir. Bir adet tekerleğin yukarı yönde yükselme değeri: 2560 mm x (0.5/100) = 12.8 mm olarak hesaplanır.

Yorulma analizleri için Yük Durumu 2, Yük Durumu 5, Yük Durumu 7, F<sub>x1</sub>Pozitif Yük Durumu ve F<sub>x1</sub>Negatif Yük Durumu incelenmiştir ve 3 adet yorulma analizi yapılmıştır (Yorulma Analizleri 1-3). Her analiz iki farklı durumu incelemektedir ve bojinin bu iki farklı durum arasında 1 milyon adet çevrim sayısına ulaşır ulaşamayacağına bakılmıştır. Yorulma analizlerinde kullanılan yük durumları Tablo 2 ve 3’te gösterilmiştir.

**Yorulma Analizi 1** => Yük Durumu 2 + Yük Durumu 5

**Yorulma Analizi 2** => Yük Durumu 5 + Yük Durumu 7

**Yorulma Analizi 3** => F<sub>x1</sub>Pozitif Yük Durumu + F<sub>x1</sub>Negatif Yük Durumu

Tablo 2. Düşey ve yanal kuvvet kombinasyonlarına ait yük durumları [6]

Yük Durumu	1. Düşey Yük (F <sub>z1</sub> )	2. Düşey Yük (F <sub>z2</sub> )	Yanal Yük (F <sub>y1</sub> )	Burulma (%)
1	F <sub>z</sub> /2	F <sub>z</sub> /2	-	-
2	(1+α-β) F <sub>z</sub> /2	(1-α-β) F <sub>z</sub> /2	-	-
3	(1+α-β) F <sub>z</sub> /2	(1-α-β) F <sub>z</sub> /2	+ F <sub>y</sub> /2	0.5 (Sağ Tekerlek)
4	(1+α+β) F <sub>z</sub> /2	(1-α+β) F <sub>z</sub> /2	-	-
5	(1+α+β) F <sub>z</sub> /2	(1-α+β) F <sub>z</sub> /2	+ F <sub>y</sub> /2	%0.5 (Sağ Tekerlek)
6	(1-α-β) F <sub>z</sub> /2	(1+α-β) F <sub>z</sub> /2	-	-
7	(1-α-β) F <sub>z</sub> /2	(1+α-β) F <sub>z</sub> /2	- F <sub>y</sub> /2	%0.5 (Sol Tekerlek)
8	(1-α+β) F <sub>z</sub> /2	(1+α+β) F <sub>z</sub> /2	-	-
9	(1-α+β) F <sub>z</sub> /2	(1+α+β) F <sub>z</sub> /2	- F <sub>y</sub> /2	0,5% (Sol Tekerlek)

Tablo 3. Boyuna gelen kuvvetlerden meydana gelen yük durumları (F<sub>x1</sub>Pozitif Yük Durumu, F<sub>x1</sub>Negatif Yük Durumu) [6]

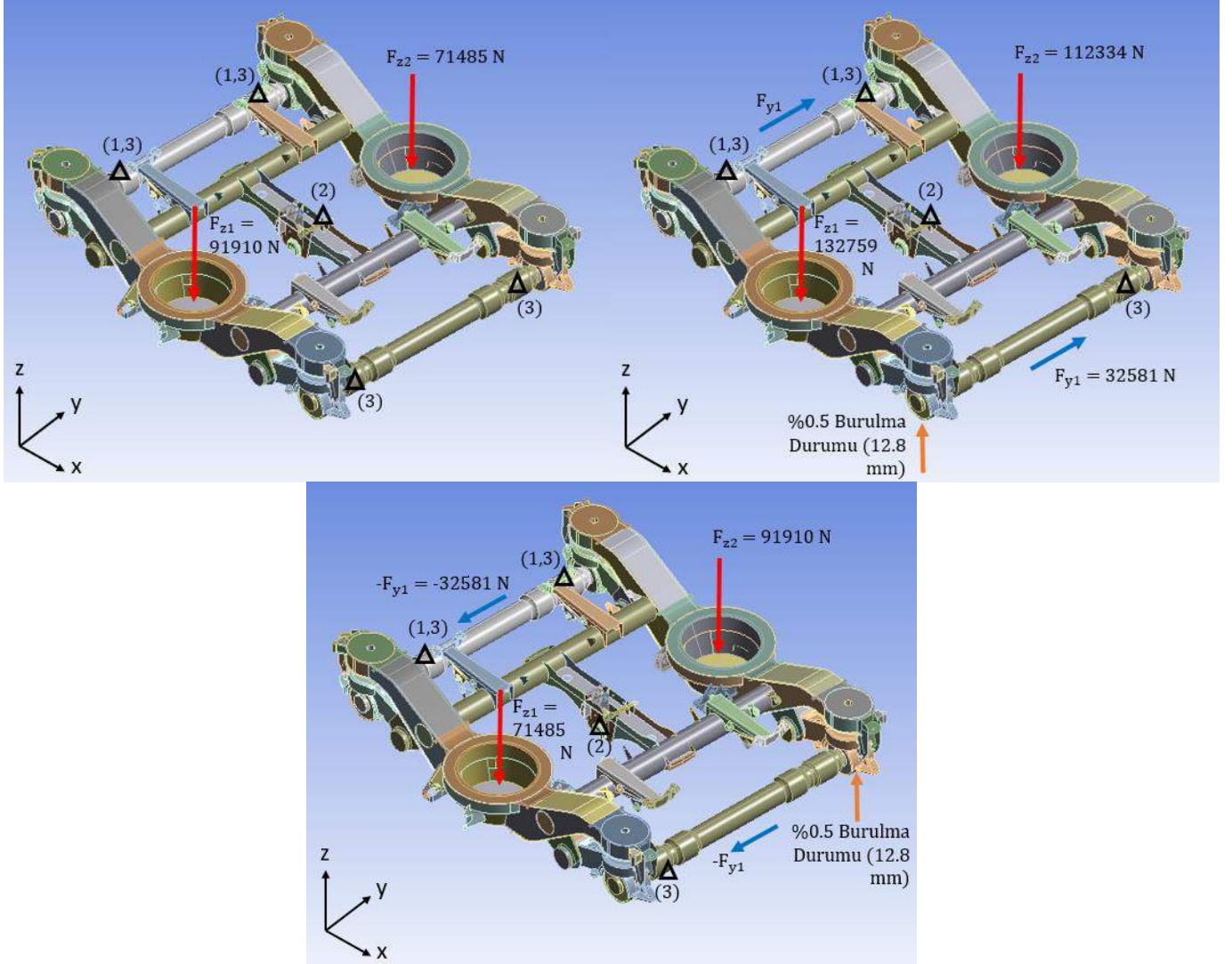
Yük Durumu	F <sub>z1</sub>	F <sub>z2</sub>	F <sub>x</sub>
1	F <sub>z</sub> /2	F <sub>z</sub> /2	0
2	F <sub>z</sub> /2	F <sub>z</sub> /2	+ F <sub>x1</sub>
3	F <sub>z</sub> /2	F <sub>z</sub> /2	- F <sub>x1</sub>

Tablo 2’de bulunan eşitliklerin değerleri yerine konulduğu zaman aşağıdaki tablo oluşmaktadır. TS EN 13749 standardına göre “α” değeri 0.1 ve “β” değeri de 0.2 olarak alınır. 3, 5, 7 ve 9 No’lu Yük Durumlarında tekerlekler %0.5 burulma eklenir [6].



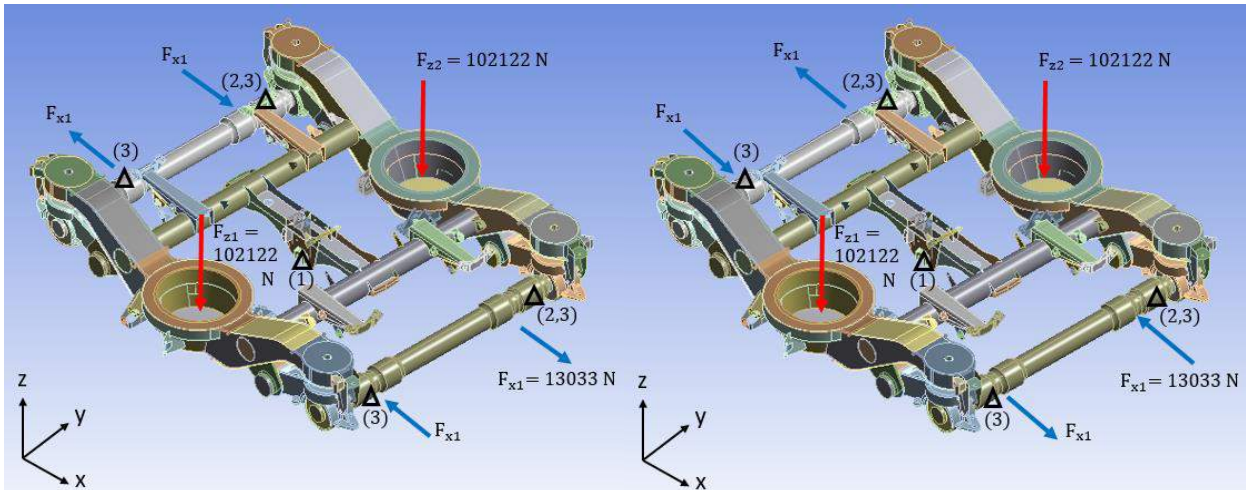
Yük Durumu 2’de bojiye minimum kuvvetler, Yük Durumu 5’te ise maksimum kuvvetler uygulanmaktadır. Bu nedenle birinci yorulma analizi Yük Durumu 2 ve Yük Durumu 5 arasında yapılmıştır.

İkinci yorulma analizi ise Yük Durumu 5 ve Yük Durumu 7 arasında uygulanmıştır. Yük Durumu 5’te burulma sağ tekerlekte Yük Durumu 7’de ise burulma sol tekerlekte bulunmaktadır. Buna ek olarak ortalama gerilme ve gerilme genliği değerleri bu iki durum arasında maksimum olmaktadır.



Şekil 2. Sınır şartları ve uygulanan kuvvetler (Yük Durumu 2, 5 ve 7)

Üçüncü yorulma analizi ise Tablo 3’e bakıldığında  $F_{x1}$  Pozitif Yük Durumu ile  $F_{x1}$  Negatif Yük Durumu arasında uygulanmıştır. Bunun nedeni bu iki yük durumu arasında gerilme genliğinin maksimum olmasıdır. Şekil 2’de Yorulma Analizi 1 ve 2’de uygulanan yük durumları gösterilmiştir. Şekil 3’te ise Yorulma Analizi 3’te uygulanan yük durumu görülmektedir.



Şekil 3. Sınır şartları ve uygulanan kuvvetler ( $F_{x1}$  Pozitif ve Negatif Yük Durumları)

Ansys Workbench programında Şekil 2 ve 3'te gösterilen sınır şartları ve kuvvetler uygulanmıştır. Burada;

- (1) X, akslardan bir tanesinin boylamsal yönde hareketi sabitlenir.
- (2) Y, yanal stop plakasının yanal yönde hareketi sabitlenir.
- (3) Z, aksların düşey yönde hareketi sabitlenir.

Y32 Bojisinin yorulma analizinde 1 milyon çevrim sayısına ulaşip ulaşamayacağı incelenmiştir. Bunun için 3 adet yorulma analizi gerçekleştirilmiş, ortalama gerilme ve gerilme genliği değerlerinin grafikleri Haigh Diyagramı'nda gösterilmiştir. Buna ek olarak Ansys Workbench'te Goodman Diyagramı kullanılarak yine bu 3 adet analiz çözdürülmüştür. Bojinin statik analiz sonuçlarının TS EN 13749:2011 standardına göre kabul görmesi için malzemenin plastik deformasyona uğramaması gerekmektedir [6].

Sünek (ductile) malzemelerde sonlu elamanlar analizi yaparken eşdeğer gerilme (Equivalent von Mises Stress) değeri kullanılır. Gevrek (brittle) malzemelerde ise asal gerilme (principal stress) değerlerini kullanmak daha uygundur. Y32 bojisinin plakalarında kullanılan çeliğin kalitesi St52-3N'dir. Bu neden ile statik analizlerde eşdeğer gerilme (Equivalent von Mises Stress) değeri kullanılmıştır.

### 3.1. Yorulma Analizi 1 (Haigh Diyagramı)

Gerilme sonuçları Haigh Diyagramı'nda değerlendirileceği için iki yük durumu arasındaki (Yük Durumu 2 ve Yük Durumu 5) ortalama eşdeğer gerilme (mean equivalent von mises stress) ve eşdeğer gerilme genliği değerlerinin hesaplanması gerekmektedir (Denklem 2-10).

Yük Durumu 2 ve Yük Durumu 5 için bütün düğüm noktalarındaki X, Y ve Z doğrultularındaki normal gerilme değerleri, buna ek olarak XY, YZ ve XZ yüzeylerindeki kayma gerilmeleri Excel dosyasına aktarılıp eşdeğer gerilme genliği ve eşdeğer ortalama gerilme değerlerine ulaşılmıştır. Tablo 4 - 6'da yapılan bu işlemler gösterilmiştir.

Tablo 4. Düğüm noktalarının normal ve kayma gerilmeleri (MPa)  
(Yorulma Analizi 1)

Node Number	Yük Durumu 2						Yük Durumu 5					
	$\sigma_X$	$\sigma_Y$	$\sigma_Z$	$\tau_{XY}$	$\tau_{YZ}$	$\tau_{ZX}$	$\sigma_X$	$\sigma_Y$	$\sigma_Z$	$\tau_{XY}$	$\tau_{YZ}$	$\tau_{ZX}$
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
387859	0,32	-3,15	-5,44	-5,39	-11,25	-3,14	1,95	-5,34	-8,93	-10,51	-19,55	-5,76
387860	2,38	-3,68	-4,21	-4,20	-8,36	-1,92	5,71	-5,65	-6,43	-8,62	-14,76	-3,39
387861	-3,65	-5,47	-7,32	-3,24	-7,96	-4,06	-6,86	-9,77	-13,21	-6,02	-13,82	-8,08
387862	-5,86	-7,24	-12,24	-1,99	-11,06	-4,83	-10,70	-12,19	-21,15	-3,98	-19,41	-9,45
387863	-4,23	-3,86	-8,35	-3,22	-10,82	-4,17	-7,91	-6,34	-14,28	-6,20	-19,34	-8,36
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
624784	0,08	-0,06	-0,20	0,01	-0,50	-1,15	-0,63	0,16	-0,29	-0,02	2,04	4,61
624785	-1,21	-0,11	-1,14	0,24	-0,23	-0,44	3,99	0,37	4,09	-0,72	0,99	1,95

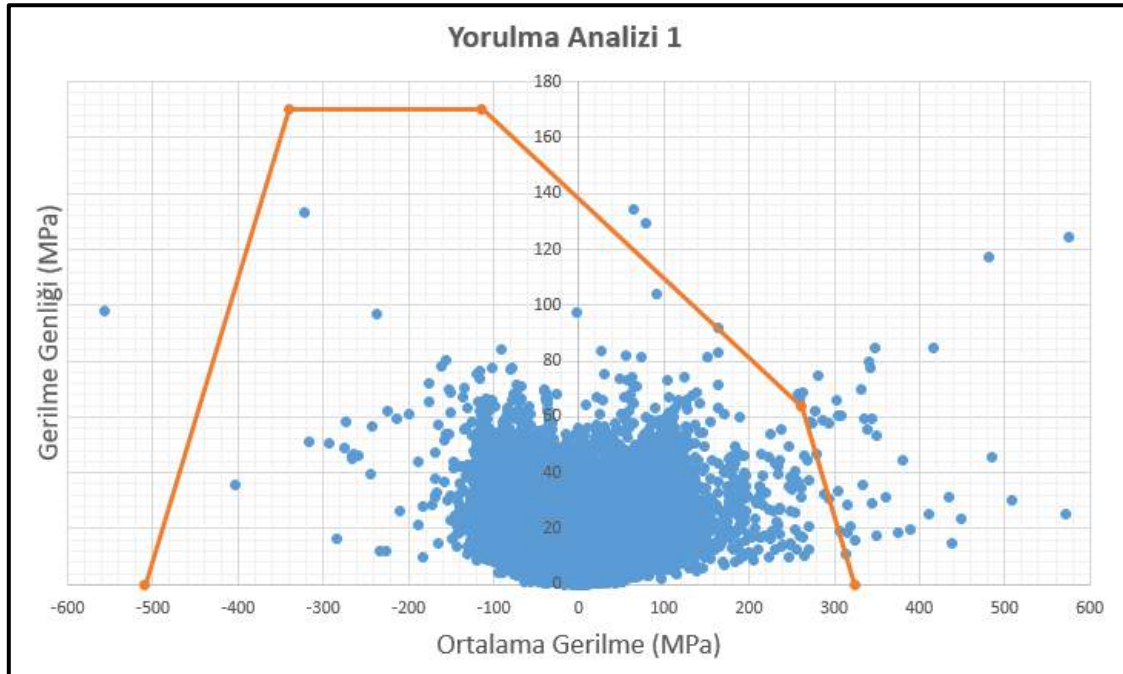
Tablo 5. Eşdeğer gerilme genliği değerlerinin hesaplanması  
(Yorulma Analizi 1)

Node Number	$\sigma_{ax}$ (MPa)	$\sigma_{ay}$ (MPa)	$\sigma_{az}$ (MPa)	$\tau_{axy}$ (MPa)	$\tau_{ayz}$ (MPa)	$\tau_{azx}$ (MPa)	Eşdeğer Gerilme Genliği (MPa)
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
387859	0,81	-1,10	-1,75	-2,56	-4,15	-1,31	9,04
387860	1,67	-0,99	-1,11	-2,21	-3,20	-0,73	7,37

387861	-1,60	-2,15	-2,95	-1,39	-2,93	-2,01	6,72
387862	-2,42	-2,47	-4,45	-0,99	-4,18	-2,31	8,68
387863	-1,84	-1,24	-2,97	-1,49	-4,26	-2,10	8,75
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
624784	-0,36	0,11	-0,05	-0,02	1,27	2,88	5,47
624785	2,60	0,24	2,62	-0,48	0,61	1,19	3,42

Tablo 6. Eşdeğer ortalama gerilme değerlerinin hesaplanması  
(Yorulma Analizi 1)

Node Number	$\sigma_{mX}$ (MPa)	$\sigma_{mY}$ (Mpa)	$\sigma_{mZ}$ (MPa)	Eşdeğer Ortalama Gerilme (MPa)
1	0,00	0,00	0,00	0,00
.....	.....	.....	.....	.....
387859	1,14	-4,25	-7,19	-10,30
387860	4,05	-4,67	-5,32	-5,94
387861	-5,25	-7,62	-10,26	-23,14
387862	-8,28	-9,71	-16,70	-34,69
387863	-6,07	-5,10	-11,32	-22,48
.....	.....	.....	.....	.....
624784	-0,28	0,05	-0,25	-0,47
624785	1,39	0,13	1,47	2,99

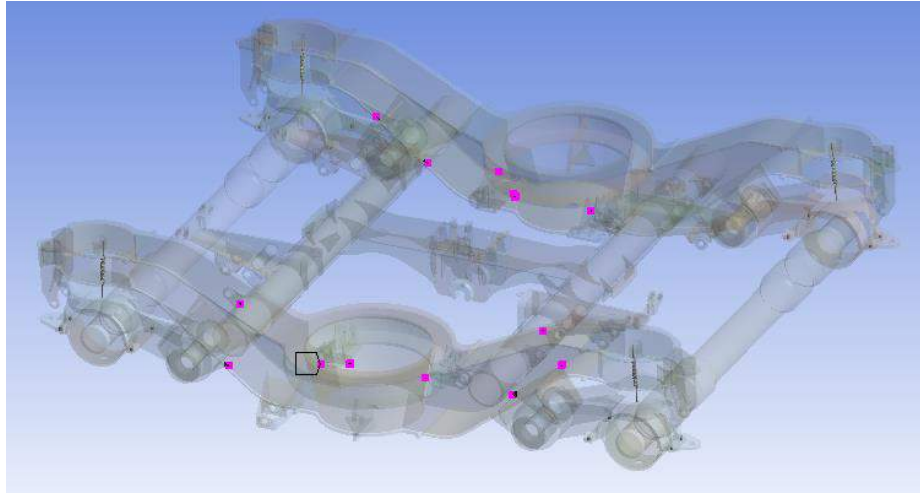


Şekil 3. Yorulma Analizi 1'in Haigh Diyagramı'nda gösterimi

Yatay ekseninde ortalama gerilme ve düşey ekseninde ise gerilme genliği değerleri gösterilmiştir. Grafikte toplamda 624,785 adet sonuç gösterilmiştir. Turuncu çizgi 1 milyon çevrim sayısının sınır çizgisidir ve Haigh Diyagramı'nın sınırlarıdır. Haigh Diyagramı'nın sınırları altında kalan gerilme değerleri 1 milyon çevrim sayısı için yeterlidir (Şekil 3). Haigh Diyagramı'nın üstünde ise yaklaşık 30 adet düğüm noktası bulunmaktadır. Bu düğüm noktalarından bir kısmının gerilme değerleri Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Haigh Diyagramı'nın üstünde kalan düğüm noktalarının numaraları ve gerilme değerleri (Yorulma Analizi 1)

#	Node Number	Eşdeğer Ortalama Gerilme (MPa)	Eşdeğer Gerilme Genliği (MPa)
1	368398	575,72	124,19
2	87836	481,72	117,17
3	88747	416,03	84,55
4	308913	484,87	45,65
5	44540	508,16	30,00
6	80245	571,60	25,40
7	76498	438,45	15,02
8	51113	448,95	23,47
9	45044	433,57	31,43
10	53748	411,66	25,23
11	371392	340,90	80,06
12	76595	341,81	77,87
13	177287	63,82	134,37
14	44531	79,38	129,62
15	172766	-557,20	97,85
16	87739	375,20	18,78
17	375213	294,35	57,79
18	368918	333,60	35,46
19	383741	315,87	28,34
20	369426	302,98	66,19

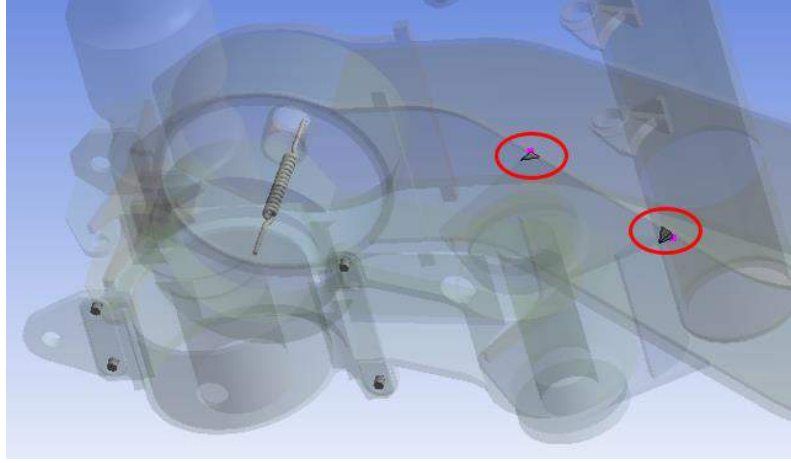


Şekil 4. Haigh Diyagramı'nın üstünde kalan düğüm noktalarının gösterimi (Yorulma Analizi 1)

İçi dolu kare noktalar Haigh Diyagramı'nın üstünde kalan düğüm noktalarını göstermektedir (Şekil 13.5). Bu yüksek gerilme değerli düğüm noktaları dağınık haldedirler. Bu düğüm noktaları modelin keskin köşelerine veya bağlantı bölgelerinin üzerinde bulunmaktadır (Şekil 4 ve 5). Bu gerilme değerlerinin yüksek olmasının nedeni tekilliklerdir. Sonlu elemanlar analizi'nde tekillik olan bölgelerde gerilme değerleri normalden yüksek çıkmaktadır. Bunun sebebi sonlu elemanlar metodundaki hesaplama hatalarından kaynaklanmaktadır [10].

Sonuç olarak Haigh Diyagramı'nın üstünde kalan yüksek gerilme değerli düğüm noktaları 1 milyon çevrim sayısı için bir soruna neden olmamaktadır.

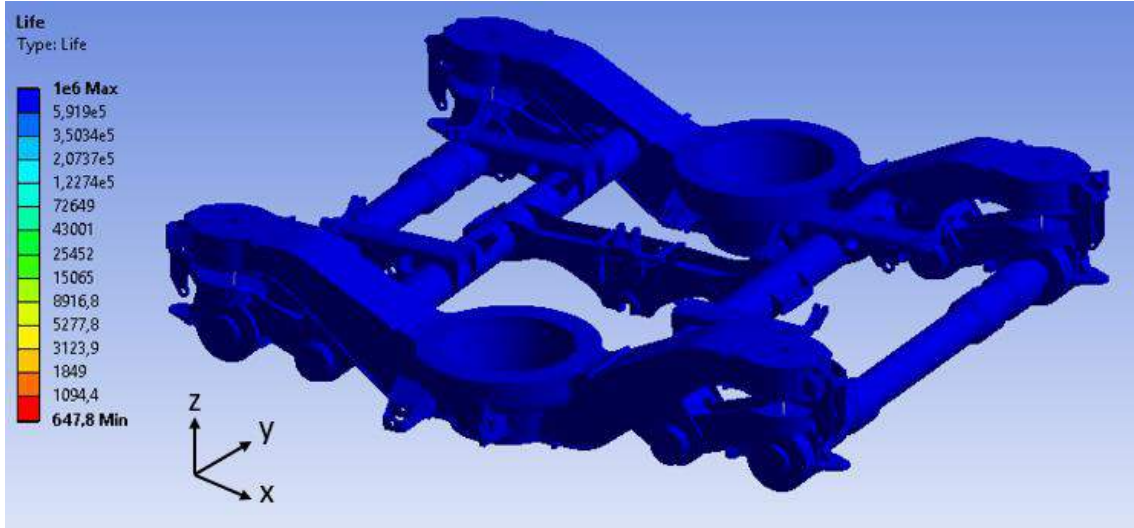




Şekil 5. Haigh Diyagramı'nın üstünde kalan düğüm noktalarının gösterimi -Detaylı (Yorulma Analizi 1)

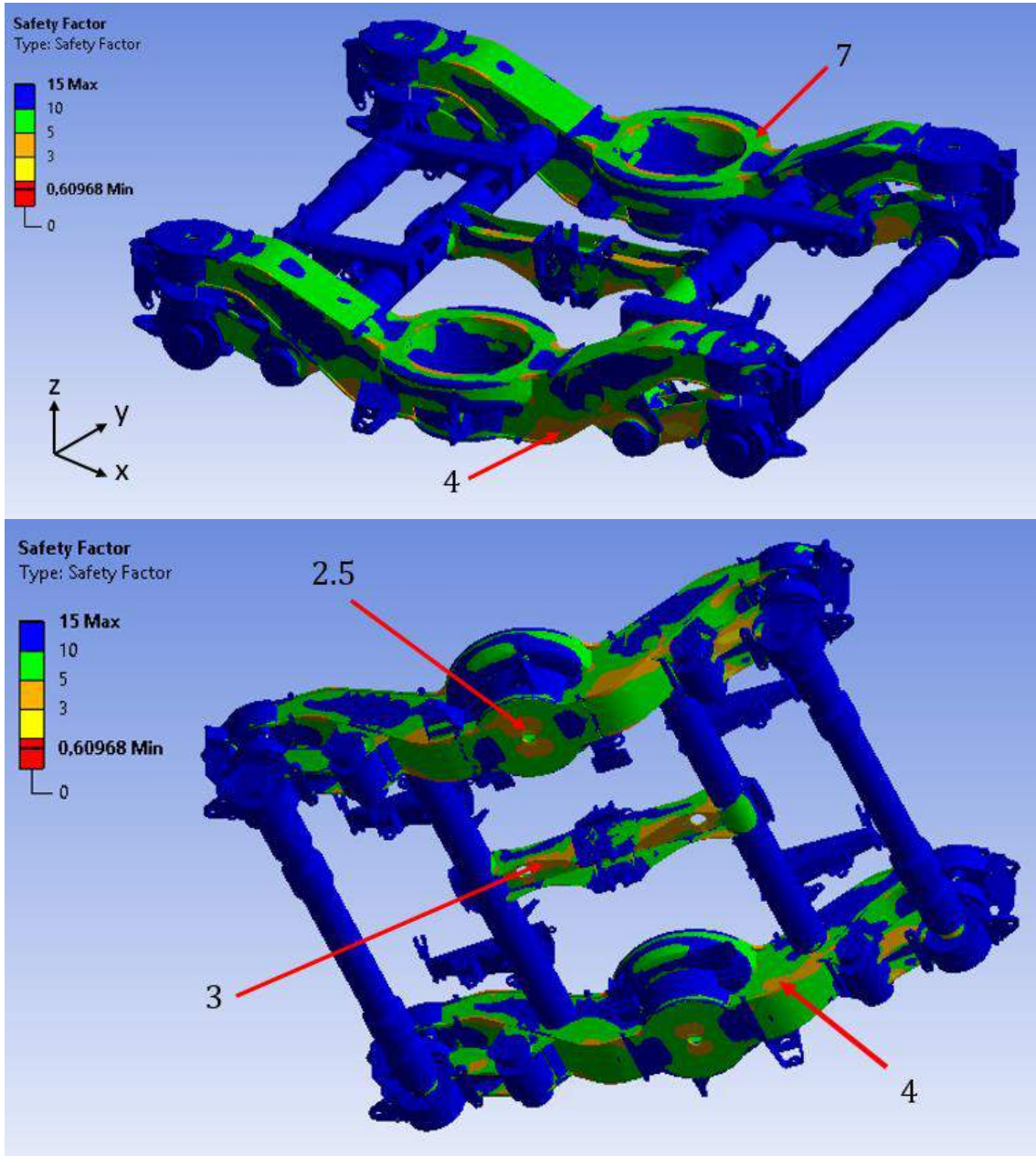
### 3.2. Yorulma Analizi 1 (Goodman Diyagramı)

Şekil 6'da Y32 bojisinin yorulma ömrü sonuçları verilmiştir. Güvenlik katsayı değeri sonuçları ise Şekil 7'de verilmiştir. Yorulma Analizi 1'de güvenlik katsayısı skalasına bakıldığında minimum değer 0.61 ve minimum güvenlik katsayısı 2.5 bulunmuştur (Şekil 7).



Şekil 6. Yorulma ömrü sonuçları (Yorulma Analizi 1)

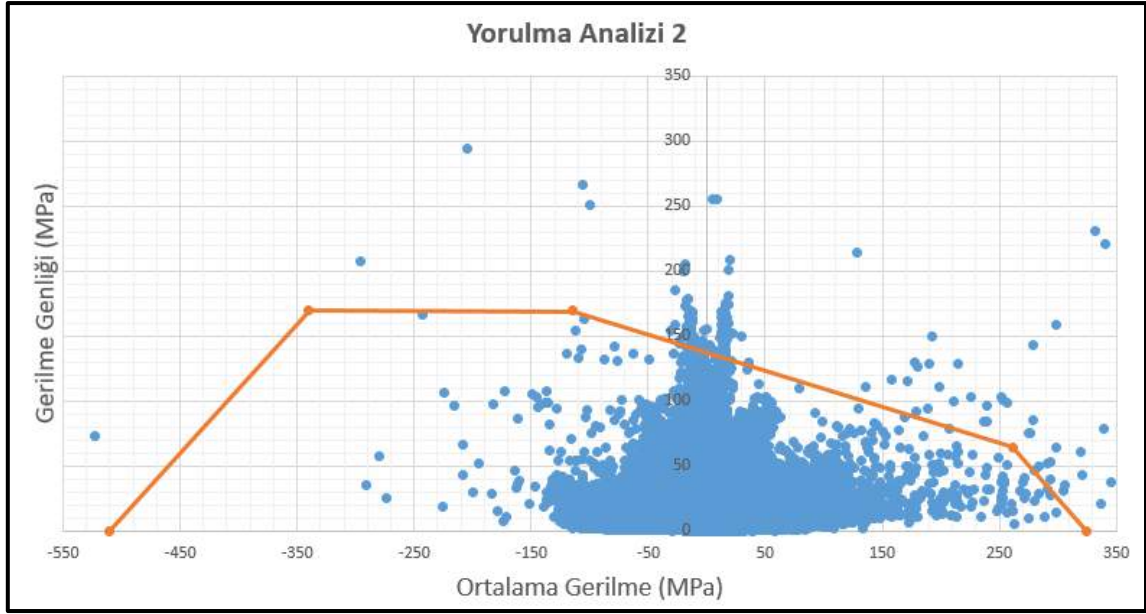




Şekil 7. Güvenlik katsayısı sonuçları (Yorulma Analizi 1)

### 3.3. Yorulma Analizi 2 (Haigh Diyagramı)

Gerilme sonuçları Haigh Diyagramı'nda değerlendirileceği için iki yük durumu arasındaki (Yük Durumu 5 ve Yük Durumu 7) ortalama eşdeğer gerilme ve eşdeğer gerilme genliği değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu hesaplamaların hangi eşitliklerden ve nasıl yapıldığı Yorulma Analizi 1 bölümünde anlatılmıştır. Aynı hesaplamalar bu bölümde Yük Durumu 5 ve Yük Durumu 7 arasındaki çevrim için yapılmıştır.

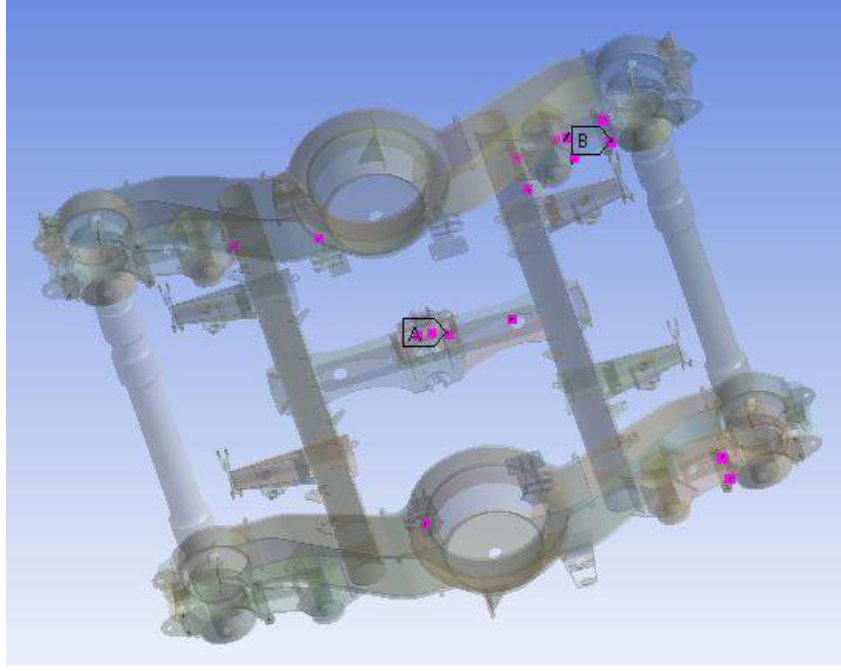


Şekil 8. Yorulma Analizi 2'nin Haigh Diyagramı'nda gösterimi

Yorulma Analizi 2 ile ilgili grafikte toplamda 624,785 adet sonuç gösterilmiştir (Şekil 8). Turuncu çizginin altında kalan gerilme değerleri 1 milyon çevrim sayısı için yeterlidir. Haigh Diyagramı'nın üstünde ise yaklaşık 60 adet düğüm noktası bulunmaktadır. Bu düğüm noktalarının bir kısmının gerilme değerleri Tablo 8'de listelenmiştir.

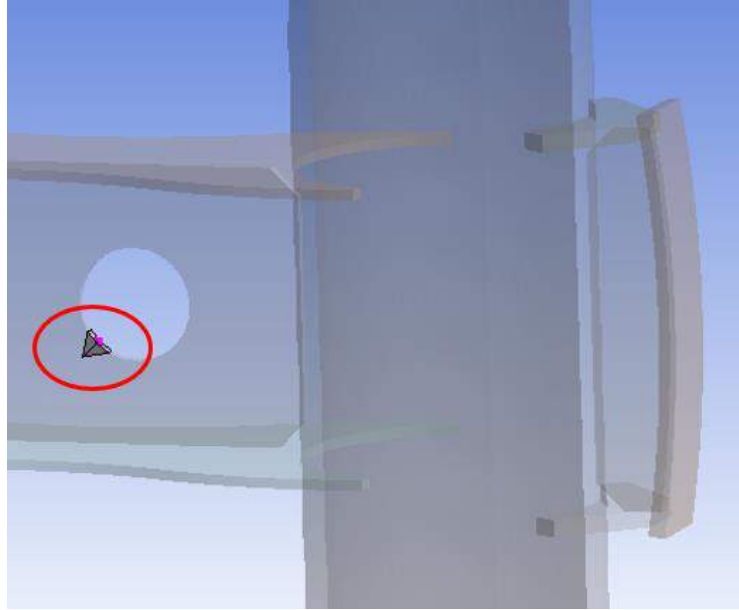
Tablo 8. Haigh Diyagramı'nın üstünde kalan düğüm noktalarının numaraları ve gerilme değerleri (Yorulma Analizi 2)

#	Node Number	Eşdeğer Ortalama Gerilme (MPa)	Eşdeğer Gerilme Genliği (MPa)
1	24071	-106,11	266,77
2	179611	-27,11	185,16
3	44531	128,85	213,84
4	87836	340,68	221,26
5	172766	-296,44	207,18
6	177287	8,26	254,81
.....	.....	.....	.....
40	516862	-12,60	160,56
41	518332	-18,89	172,60
42	519006	16,69	175,28



Şekil 9. Haigh Diyagramı'nın üstünde kalan düğüm noktalarının gösterimi (Yorulma Analizi 2)

İçi dolu kare noktalar Haigh Diyagramı'nın üstünde kalan düğüm noktalarını göstermektedir (Şekil 9). Bu yüksek gerilme değerli düğüm noktaları dağınık haldedirler. Bu düğüm noktaları modelin keskin köşelerine veya bağlantı bölgelerinin üzerinde bulunmaktadır (Şekil 9 ve 10). Bu gerilme değerlerinin yüksek olmasının nedeni tekilliklerdir. Sonuç olarak Haigh Diyagramı'nın üstünde kalan yüksek gerilme değerli düğüm noktaları 1 milyon çevrim sayısı için bir soruna neden olmamaktadır.

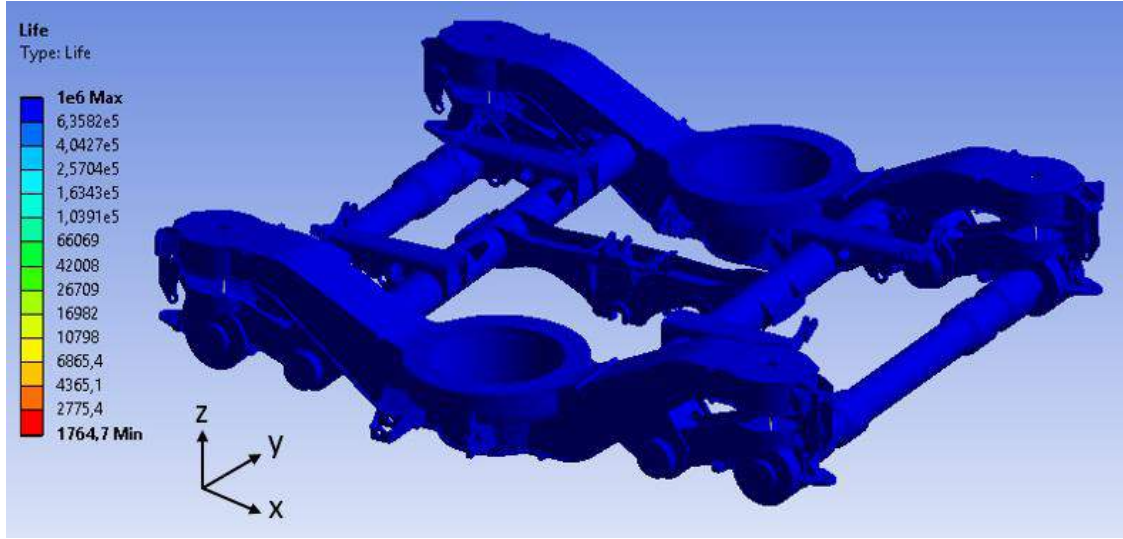


Şekil 10. Haigh Diyagramı'nın üstünde kalan düğüm noktalarının gösterimi - Detaylı (Yorulma Analizi 2)

### 3.4. Yorulma Analizi 2 (Goodman Diyagramı)

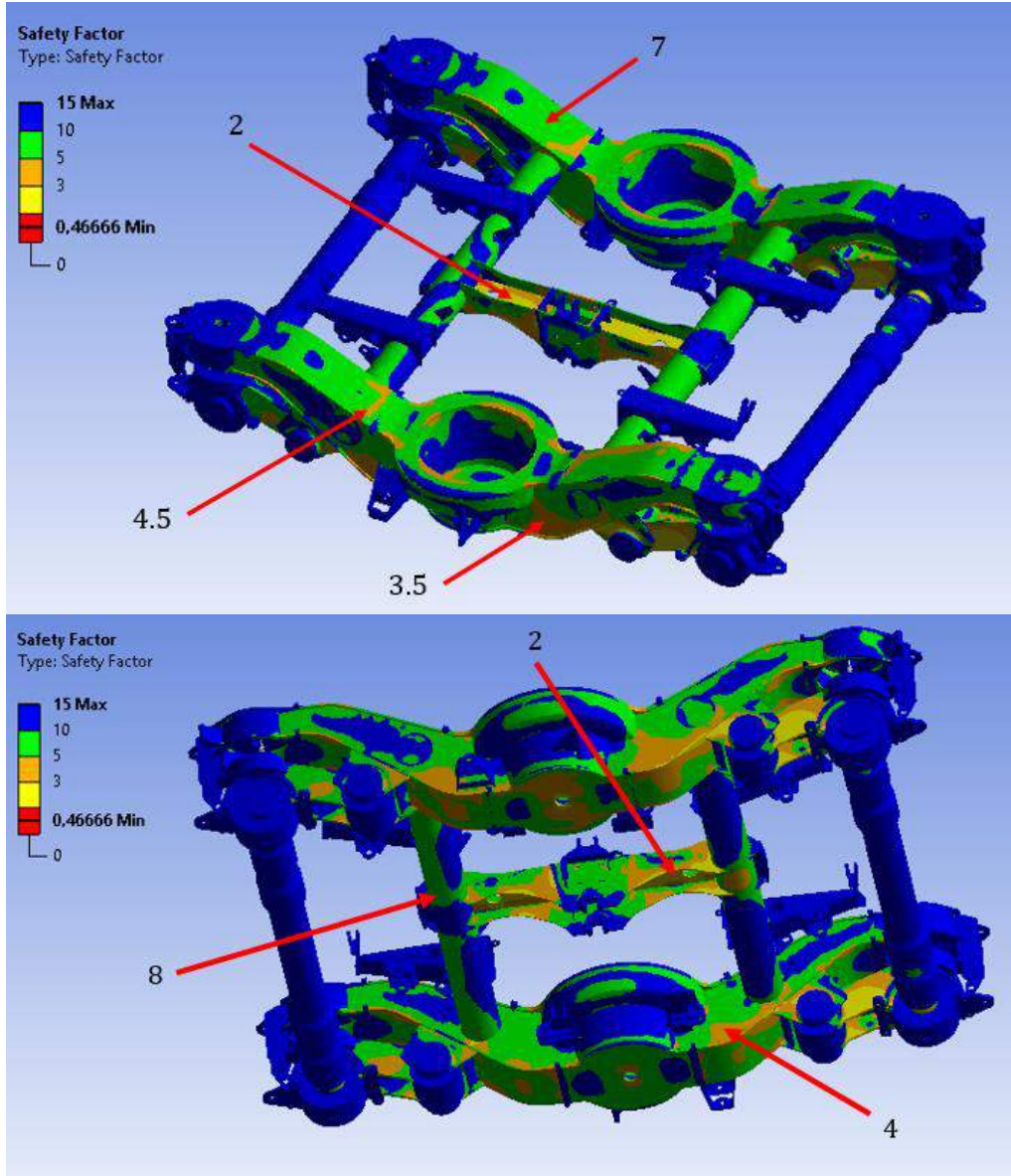
Bu bölümde Yük Durumu 5 ile Yük Durumu 7 arasındaki yorulma analizi Ansys Workbench'te Goodman Diyagramı kullanılarak yapılmıştır. Şekil 11'de Y32 bojisinin yorulma ömrü sonuçları verilmiştir. Güvenlik katsayı değeri sonuçları ise Şekil 12'de verilmiştir.





Şekil 11. Yorulma ömrü sonuçları (Yorulma Analizi 2)

Şekil 13.19'da Y32 bojisinin yorulma ömrü sonuçları verilmiştir.

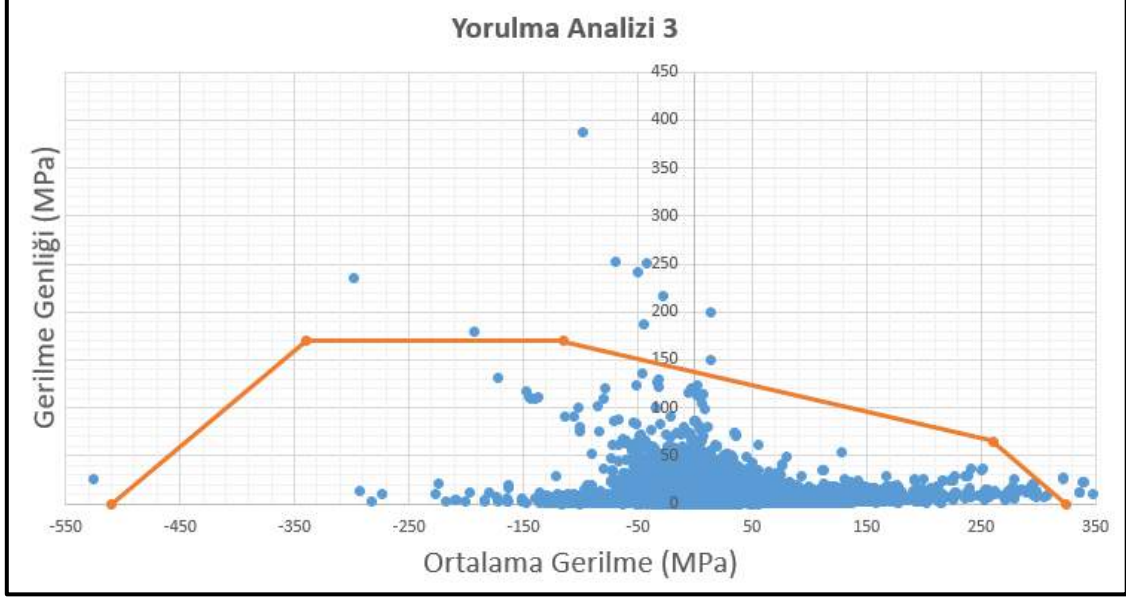


Şekil 12. Güvenlik katsayısı sonuçları (Yorulma Analizi 2)

Yorulma Analizi 2’de güvenlik katsayısı skalasına bakıldığında minimum değer 0.47 ve minimum güvenlik katsayısı 2 çıkmıştır (Şekil 12).

### 3.5. Yorulma Analizi 3 (Haigh Diyagramı)

Gerilme sonuçları Haigh Diyagramı’nda değerlendirileceği için iki yük durumu arasındaki ( $F_{x1}$  Pozitif Yük Durumu ve  $F_{x1}$  Negatif Yük Durumu) ortalama eşdeğer gerilme ve eşdeğer gerilme genliği değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Aynı hesaplamalar bu bölümde  $F_{x1}$  Pozitif Yük Durumu ve  $F_{x1}$  Negatif Yük Durumu arasındaki çevrim için yapılmıştır.

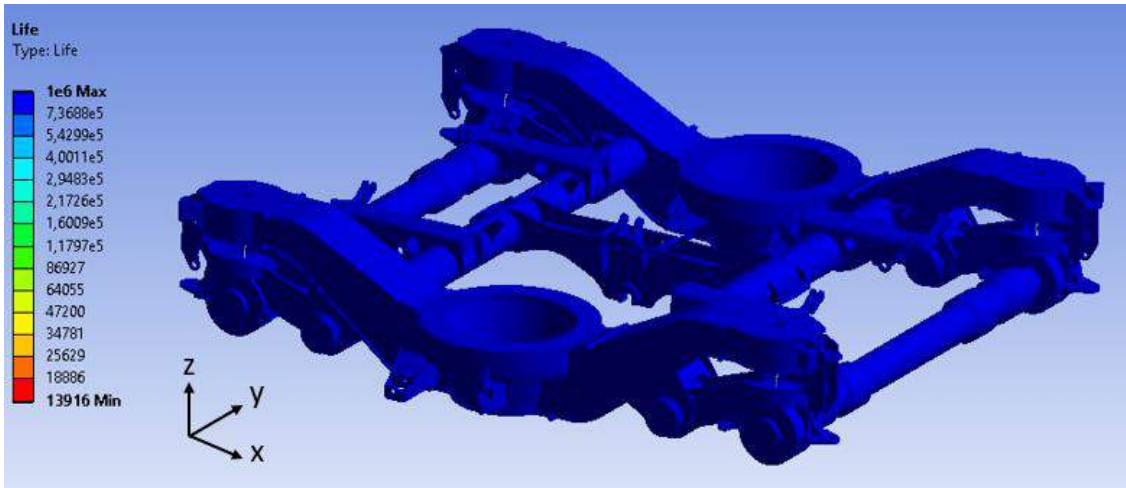


Şekil 13. Yorulma Analizi 3’ün Haigh Diyagramı’nda gösterimi

Yorulma Analizi 3 ile ilgili grafikte toplam 624,785 adet sonuç gösterilmiştir (Şekil 13). Turuncu çizginin altında kalan gerilme değerleri 1 milyon çevrim sayısı için yeterlidir. Bu analizde yaklaşık 15 adet gerilme değeri Haigh Diyagramı’nın sınırları dışındadır. İlk iki yorulma analizinde diyagram dışında kalan düğüm noktaları gösterildiği için burada gösterilmemiştir.

### 3.6. Yorulma Analizi 3 (Goodman Diyagramı)

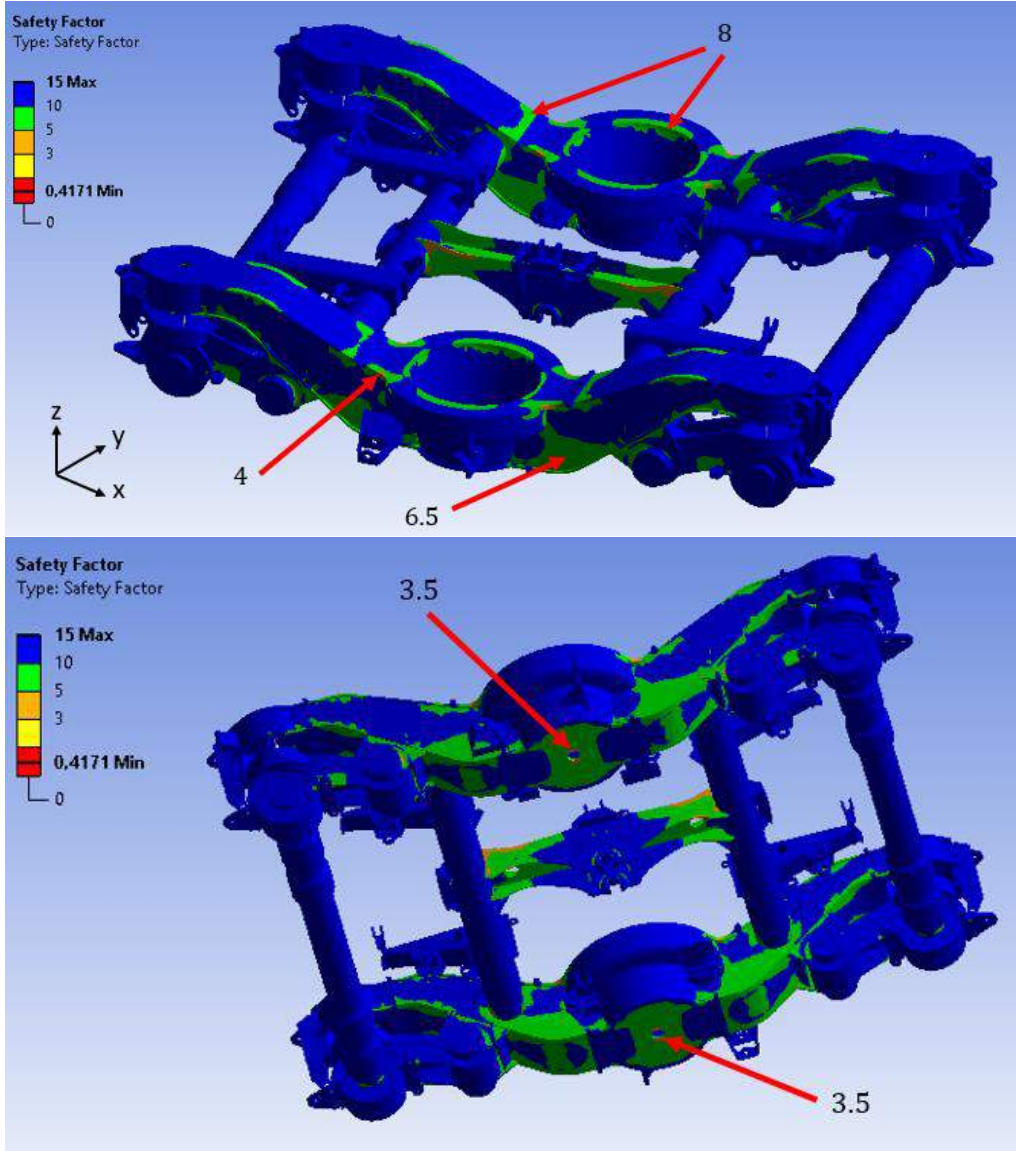
Bu bölümde  $F_{x1}$  Pozitif Yük Durumu ile  $F_{x1}$  Negatif Yük Durumu arasındaki yorulma analizi Ansys Workbench’te Goodman Diyagramı kullanılarak yapılmıştır.



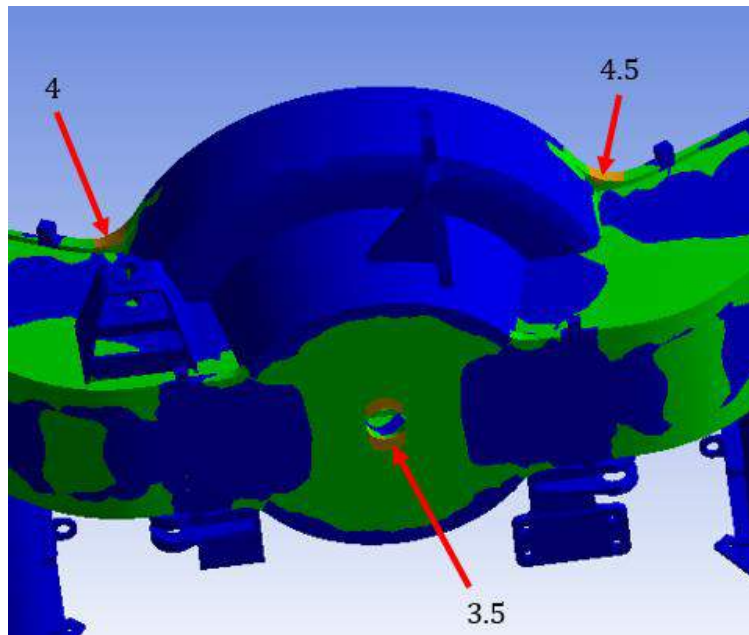
Şekil 14. Yorulma ömrü sonuçları (Yorulma Analizi 3)

Şekil 14’te Y32 bojisinin yorulma ömrü sonuçları verilmiştir. Güvenlik katsayısı değeri sonuçları ise Şekil 15 ve 16’da verilmiştir.





Şekil 15. Güvenlik katsayısı sonuçları (Yorulma Analizi 3)



Şekil 16. Güvenlik katsayısı sonuçları - Detaylı (Yorulma Analizi 3)

Yorulma Analizi 3'te güvenlik katsayısı skalasına bakıldığında minimum değer 0.42 ve minimum güvenlik katsayısı 3.5 çıkmıştır (Şekil 15 ve 16).

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, Y32 bojisinin şasisi ve ekipmanlarına dair statik analizler TS EN13749 standardı çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirdiğimiz analizleri doğrudan ilgilendirdiği için sonlu elemanlar yöntemi, mühendislikte yorulma mekanizması ve eşdeğer gerilme hakkında bilgiler verilmiştir. Bunun ardından analiz edilen malzemelerin mekanik özellikleri anlatılmıştır. Y32 boji tasarımının analiz için 3 boyutlu olarak hazırlanmıştır. Bunun ardından yorulma analizlerinde kullanılmak üzere servis yüklemeye durumları için statik analizler yapılmıştır.

Y32 Bojisinin yorulma analizlerinde ise 3 adet yorulma analizi gerçekleştirilmiştir. Ansys Workbench programı yardımıyla gerilme değerleri çıkartılmış, bu gerilme değerleri kullanılarak ortalama gerilme ile gerilme genliği değerleri bulunmuştur. Gerilme sonuçlarının genel görünüm şekillerine bakıldığında, zaman gerilme skalalarının akma gerilmesinin (yield stress) oldukça üzerinde olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, çözüm ağı (mesh) uygulanan modelde Stress Singularity bölgelerinin bulunmasıdır. Sonlu elemanlar metodunda çözüm yaparken bu bölgeler program tarafından hatalı olarak hesaplanmaktadır. Bu neden ile gerilme değerleri, Stress Singularity'e neden olan bölgelerin biraz daha uzağından alınmıştır. Böylelikle daha doğru gerilme sonuçlarına ulaşılmıştır. Böylece, elde edilen gerilme genliği değerleri Haigh Diyagramı'nda yorumlanmıştır. 3 yorulma analizi de 1 milyon çevrim ömrü için uygun görülmüştür. Buna ek olarak yorulma analizleri Ansys Workbench programında Goodman Diyagramı'nda çözdürülmüştür ve ömür ile güvenlik katsayıları değerlerine ulaşılmıştır. Gerçekleştirdiğimiz yorulma analizleri çerçevesinde Y32 Boji şasisi TS EN 13749 standardının gerekliliklerini karşıladığı görülmüştür.

#### Kaynakça

- [1] R. Juvinall, K. Marshek, "Fundamentals of Machine Component Design", John Wiley & Sons, Inc., 4. Baskı, 290-347, 2006.
- [2] S. Sabırlı, "Bir Raylı Taşıt Bogisinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Yorulma Analizi" Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2012.
- [3] A. Cera, "Analysis of methodologies for fatigue calculation for railway bogie frames", Trenitalia S.P.A., Floransa, İtalya.
- [4] J. Kim, N. Kim, "Structural Assessment for Bogie Frame of 180 km/h Korean Tilting Train", Key Engineering Materials, 297(300): 345-350, 2005.
- [5] H. Huang, L. Chen, "Strength Simulation of a Railway Bogie Frame based on EN 13749", Journal of Technology, 33(4): 209-214, 2018.
- [6] European Committee for Standardization, "EN 13749 : 2011 Railway Applications – Wheelsets and Bogies – Method of Specifying the Structural Requirements of Bogie Frames." Brüksel, Belçika, 2011.
- [7] S. Schmid, B. Hamrock, B. Jacobson, "Fundamentals of Machine Elements", CRC Press, 3. Baskı, 180-188, 2014.
- [8] A. Fatemi, "Multiaxial Stresses", University of Toledo, Chapter 10, [https://www.efatigue.com/training/Chapter\\_10.pdf](https://www.efatigue.com/training/Chapter_10.pdf) (30.01.2019 tarihinde alınmıştır.)
- [9] European Committee for Standardization. "EN 15663 : 2017 Railway applications – Definition of Vehicle Reference Masses" Brüksel, Belçika, 2017.
- [10] "Stress Singularity", <https://enterfea.com/stress-singularity-an-honest-discussion/> (23.01.2019 tarihinde alınmıştır.)



# Poli(sodyum 4-stiren sülfonat) Kaplı SnO<sub>2</sub> Nanoparçacıklarının Sentezi, Karakterizasyonu ve Gaz Algılama Özelliklerinin İncelenmesi

Filiz Boran<sup>1\*</sup>, İmren Taşkiran<sup>2</sup>, Sevil Çetinkaya<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Hitit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Çorum, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4315-9949)

<sup>2</sup> Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6031-6328)

<sup>3</sup> Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5421-0474)

(İlk Geliş Tarihi 9 Eylül 2019 ve Kabul Tarihi 27 Ekim 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.617383)

**ATIF/REFERENCE:** Boran, F., Taşkiran, İ. & Çetinkaya, S. (2019). Poli(sodyum 4-stiren sülfonat) Kaplı SnO<sub>2</sub> Nanoparçacıklarının Sentezi, Karakterizasyonu ve Gaz Algılama Özelliklerinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 412-422.

## Öz

Bu çalışmada, poli(etilen glikol)(PEG)-Kalay Oksit/poli(sodyum 4-stiren sülfonat) PEG-SnO<sub>2</sub>/PSS nanokompozitleri, 2 saat boyunca dimetil formamid (DMF) varlığında hidrotermal işleme hazırlandı. Bunun için yüzey aktif madde PEG ile birlikte daha önceden sentezlenmiş olan 16,4 nm büyüklüğündeki SnO<sub>2</sub> nanoparçacıkları kullanıldı. PEG-SnO<sub>2</sub>/PSS nanokompoziti, PSS ve PEG-SnO<sub>2</sub> ile birlikte DMF varlığında 0°C reaksiyon sıcaklığında 2 saat sürede sentezlendi. Hazırlanan PEG-SnO<sub>2</sub>/PSS nanokompozitinin yapısal ve elementel analizi, taramalı elektron mikroskopisi (SEM), Enerji Dağılım X-Işınları Spektrometresi (EDS), X-ışını difraksiyonu (XRD) ve Fourier transform infrared (FTIR) spektroskopisi teknikleri ile yapıldı. FTIR ve XRD analizleri SnO<sub>2</sub> nanoparçacıklarının PSS polimer yapısına katıldığını gösterirken, SEM ve EDS analizleri SnO<sub>2</sub> nanoparçacıklarının morfolojik yapısının, PSS ile kompozitleri hazırlandığında PSS polimeri ile kapsülendirilerek nanoyapıdan mikroküre yapılara dönüştüğünü gösterdi. Ayrıca, sonuçlar, PEG-SnO<sub>2</sub> yüzeyinin, güçlü  $\pi$ - $\pi$  etkileşimleri altında PSS ile % 39,53'lük bir kapsülleme oranı ile kaplandığını gösterdi. Bu örneklerin amonyak, etanol, aseton, formaldehit ve kloroform gibi uçucu organik bileşen (VOC) buharlarına karşı gaz duyarlılıkları, oda sıcaklığında, iki probe tekniği ile elektrometre kullanılarak incelendi. PEG-SnO<sub>2</sub> nanoparçacıklarının etanol gazı için yüksek algılama performansı sergilediği görüldü. Saf olarak kullanılan PSS, VOC gazlarının hepsine karşı yüksek oranda duyarlılık gösterdi. Deney sonuçlarına göre, PSS ile kapsülendirilen PEG-SnO<sub>2</sub> nanokompozitinin gaz sensörü malzemesi olarak kullanım potansiyelinin artırılabilirliği söylenebilir.

**Anahtar Kelimeler:** PSS, SnO<sub>2</sub>, Nanoparçacık, Nanokompozit, Hidrotermal yöntem, VOC.

## Synthesis, Characterization and Investigation of Gas Sensing Properties of Poly (sodium 4-styrene sulfonate)-Decorated SnO<sub>2</sub> Nanoparticles

### Abstract

In this study, polyethylene glycol (PEG)-Tin Oxide/Poly(sodium 4-styrene sulfonate) (PEG-SnO<sub>2</sub>/PSS) nanocomposites were prepared by hydrothermal method in the presence of dimethyl formamide (DMF) for 2 hours. For this purpose, SnO<sub>2</sub> nanoparticles of 16.4 nm size previously synthesized using PEG as a surfactant were used. The PEG-SnO<sub>2</sub>/PSS nanocomposite was synthesized with PSS and

\* Sorumlu Yazar: Hitit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Çorum, Türkiye, ORCID: 0000-0002-4315-9949, [filizbektas@hitit.edu.tr](mailto:filizbektas@hitit.edu.tr)

PEG-SnO<sub>2</sub> in the presence of DMF at a reaction temperature of 0°C for 2 hours. The morphology and elemental analysis of PEG-SnO<sub>2</sub>/PSS nanocomposite were analyzed by scanning electron microscopy (SEM), Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS), X-ray diffraction (XRD) and Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. FTIR and XRD analyzes showed that SnO<sub>2</sub> nanoparticles were incorporated into the PSS polymer structure, while SEM and EDS analysis showed that the morphological structure of SnO<sub>2</sub> nanoparticles was transformed from nanostructures into microsphere by encapsulating them with PSS polymer. Also, the results showed that the PEG-SnO<sub>2</sub> surface was coated with PSS at an encapsulation rate of 39.53% under strong  $\pi$ - $\pi$  interactions. Gas sensitivities of these samples against volatile organic compound (VOC) vapors such as ammonia, ethanol, acetone, formaldehyde and chloroform were investigated by two probe techniques using electrometer at room temperature. PEG-SnO<sub>2</sub> nanoparticles showed high detection performance for ethanol gas. The pure PSS illustrated a high level of sensitivity to all VOC gases. According to the experimental results, it can be said that the PEG-SnO<sub>2</sub> nanocomposite encapsulated by PSS can be used as a gas sensor material.

**Keywords:** PSS, SnO<sub>2</sub>, Nanoparticle, Nanocomposite, Hydrothermal method, VOC.

## 1. Giriş

Günümüzde, nano yapıya sahip malzemeler, fiziksel, mekanik, manyetik ve kimyasal özellikler nedeniyle, malzeme mühendisliğinin çeşitli alanlarında büyük öneme sahiptir (Boran, Çetinkaya, & Şahin, 2017). Bu malzemeler arasından mükemmel alıcı ve dönüştürücü işlevlerine sahip metal oksit yarı iletken (MOS) nanomalzemeleri, düşük maliyetli algılama cihazlarının geliştirilmesinde kullanılmakta ve gaz sensörlerinin performansını arttırmak için gaz algılama malzemeleri olarak da yaygın şekilde araştırılmaktadır (Andre vd., 2018; Boran & Çetinkaya, 2017). Toksik bileşikler olarak uçucu organik bileşikler (VOC), özellikle etanol, aseton, amonyak ve metil benzen, insan sağlığına karşı oldukça zararlı olmalarına rağmen çeşitli endüstrilerde kullanılmaktadırlar (Boran & Çetinkaya, 2016). Kaynama noktaları düşük olduğu için VOC'ler evlerde, ofislerde ve işyerlerinde kullanılan mobilyalardan, deterjanlardan ve çeşitli eşyalardan ortama kolaylıkla salındıklarından dolayı insan sağlığını tehdit etmektedirler. Bu nedenle, VOC gazlarının tespiti gittikçe önem kazanmaktadır. Kalay oksit (SnO<sub>2</sub>), tungsten trioksit (WO<sub>3</sub>), çinko oksit (ZnO), titanyum dioksit (TiO<sub>2</sub>), indiyum oksit (In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), demir oksit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) vb. birçok MOS'ler, VOC'lerin tespiti için kapsamlı bir şekilde çalışılmıştır. Metal oksitler arasında SnO<sub>2</sub>, yüksek yüzey alanı, geniş bant aralığı (3,65 eV), dielektrik sabiti, çevre dostu ve kolay sentezleme gibi yüksek hassasiyete sahip olması nedeniyle en önemli malzemelerden biridir (Boran & Çetinkaya, 2016; Lucattini vd., 2018; Weschler, 2009).

Polielektrolitler veya poliyonlar, çok sayıda kovalent olarak bağlı iyonize edilebilir alt birimden oluşan moleküllerdir. Doğada bol miktarda bulunurlar ve biyolojik sistemler için çok önemlidirler. Polielektrolitler çoğunlukla farmasötik, kozmetik ve gıda endüstrisinde, kağıt yapımında, süspansiyonların reolojik özelliklerini düzenlemek için kullanılırlar (Adamczyk, Jachimska, Jasiński, Warszyński, & Wasilewska, 2009). Düşük moleküler ağırlıklı yüzey aktif cisimler haricinde, polimerik modifiye ediciler, özellikle güçlendirilmiş polimer kompozitlerde uygulama için çok önemli olan üstün termal stabilite, toksik olmayan ve mekanik özellikler gibi birçok avantaj sergiler. Polimerik modifiye edici olarak Poli (sodyum 4-stirensülfonat) (PSS), nanomalzemeleri kaplamak, nanomalzemelerin fizyolojik olarak ilgili pH ve iyonik kuvvetteki çözeltilerdeki dispersiyon stabiliteelerini arttırmak ve ayrıca seyreltme etkisine karşı koymak için kullanılmaktadır. Ayrıca PSS, kompoziti oluşturulacak malzemelerin yüzeyi ile çok güçlü bir istifleme etkileşimi oluşturabilen bol miktarda bağlı benzen halkası ile çok yaygın olarak kullanılan toksik olmayan ve suda çözünür güçlü bir destekleyici polielektrolitdir. (Du, Yang, Zhao, Wang, & Zeng, 2016; Li, Feng, Wei, Yang, & Ji, 2012; Mirza & Shamshad, 2019; Tran, Yang, & Jeong, 2016). Bu nedenle, PSS'nin polimerik bir değiştirici olarak sulu çözeltide nanomalzemeleri daha iyi dağıtmak ve stabilize etmek için kullanımı çok uygundur. Bununla birlikte, inorganik nanomalzemelerin ve polimerlerin kombinasyonunun, her malzemenin olumlu özelliklerini birleştirmek için etkili bir yol olduğu da bildirilmiştir (Fenoy vd., 2018)

Literatürde PSS ve kompozitlerinin sensör uygulamaları ile ilgili çok fazla çalışma mevcut değildir. Örneğin, Yu vd. (2014), grafen oksit (GO) ve PSS ile GO-PSS kompozit filmlere dayanan kapasitif tip nem sensörleri üreterek GO-PSS sensörünün GO sensörüne kıyasla gelişmiş nem algılama yanıtları sergilediğini göstermişlerdir (Yu vd., 2014). Shi ve arkadaşları (2014) karbon siyahı (CB) ve PSS kullanarak bilyalı öğütme yöntemiyle CB/PSS nanokompozitleri hazırlamışlardır. PSS ile CB'nin özelliklerini iyileştirdiklerini ve ayrıca nanokompozitlerinin hidrofilitiklik ve su içinde kararlı koloidal bir dağılım gösterdiklerini bildirmişlerdir (Shi, Li, Li, & Wu, 2014). Zhang ve arkadaşları (2006) silika-kitosan-PSS kompozit filmlerini biyosensör geliştirilmesinde kullanmışlardır (L. Zhang, Xu, & Dong, 2006). Zhang ve Xu (2014) metilen mavisine karşı üstün adsorbanlar geliştirmek amacıyla karbon nanotüplerin (CNT) adsorpsiyon performansının iyileştirilmesi için PSS'yi kullanmışlardır (Z. Zhang & Xu, 2014). Andre ve arkadaşları (2017), oda sıcaklığında amonyakın hassas ve seçici tespiti için döküm ve in situ polimerizasyon yoluyla PSS ve polianilin ile sırayla kaplanmış bir cam mikrofiber kağıdından oluşan gaz algılama platformu geliştirdiklerini bildirmişlerdir (Andre vd., 2017).

Sonuç olarak, SnO<sub>2</sub>/PSS nanokompozitlerinin sentezi ve VOC'lere karşı gaz algılama özelliklerinin incelenmesiyle ilgili çalışmalar henüz bildirilmemiştir. Bu nedenle, negatif yüklü bir polimer olan PSS'nin içerisine SnO<sub>2</sub> yarı iletken nanoyapıların dahil edilmesi, gaz sensör uygulamaları için ümit verici bir matris olabilir. Bu amaçla, çalışmamızda SnO<sub>2</sub> nanoparçacıklarının PSS ile hidrotermal yöntemle SnO<sub>2</sub>/PSS nanokompozitleri sentezlenerek karakterizasyonu yapılmış ve VOC gazlarına karşı gaz algılama özellikleri incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

DMF ve PSS (MA:70000) Merck firmasından temin edildiği gibi kullanıldı. Daha önceden yüzey aktifleştirici olarak kullanılan PEG (MA: 8000 g/mol) ile sentezlenmiş SnO<sub>2</sub> nanoparçacıkları daha sonra herhangi bir işlem uygulanmadan kullanılmıştır.



## 2.2. Hidrotermal Yöntem ile SnO<sub>2</sub> Nanoparçacıklarının Sentezi

10 mmol g SnCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O 'nun oda sıcaklığında, 100 ml deiyonize su ile çözeltisi hazırlandı. Daha sonra, çözeltiliye 4 ml amonyak çözeltisi (%26) ve 2,5 mL hidrazin ilave edildi. Çözelti 20 dakika karıştırıldıktan sonra, 1 saat süreyle ultrasonik banyoda dağıtıldı ve çözeltiliye 0,5 mmol PEG eklendi. Çözeltinin 30 dakika boyunca tekrar ultrasonik banyoda dağıtılması sağlandıktan sonra 12 saat boyunca 100 °C'de teflon otoklavda (120 mL) hidrotermal işlem gerçekleştirildi. Son olarak, otoklav doğal olarak oda sıcaklığına kadar soğutuldu, numune süzülde ve atık suyun pH değeri 7 olana kadar deiyonize su ve etanol ile yıkandı. Son ürün, 60 °C'de 24 saat kurutuldu ve 2 saat boyunca 500 °C'de kalsine edildi. Sonuç olarak 16,4 nm parçacık boyutunda SnO<sub>2</sub> nanoparçacıkları elde edildi ve daha önce yapısı aydınlatılan SnO<sub>2</sub> nanoparçacıkları (Boran, 2016) PEG-SnO<sub>2</sub>/PSS nanokompozitlerinin hazırlanmasında kullanıldı.

## 2.3. PEG-SnO<sub>2</sub>/PSS Nanokompozitlerinin Hidrotermal Yöntemle Sentezi

Daha önce hazırlanan PEG-SnO<sub>2</sub> nanoparçacıkları 30 ml DMF içerisinde dağıtıldı. Daha sonra kütlece %21'lik PSS içeren 10 ml DMF çözeltisi karışıma eklendi. Hazırlanan bu karışım 0 °C'de 2 saat karıştırıldıktan sonra süzülerek elde edilen ürün, DMF'yi uzaklaştırmak için, 12 saat boyunca 110 °C'de 5 kez kurutuldu. Elde edilen ürün PEG-SnO<sub>2</sub>/PSS nanokompoziti olarak adlandırıldı.

## 2.4. Karakterizasyon

Sentezlenen örnekler KBr disk metodu ile hazırlanarak Mattson 1000 model FTIR spektrometresi (Fourier transform infrared spektrometre) kullanılarak FTIR spektrumları alınmıştır. KBr disk metodunda peletler, 100 mg KBr tuzu içerisine eklenen 2-3 mg örneğin belli bir süreyle öğütülmesinden sonra yaklaşık 7 tonluk yüklem altında hazırlanmıştır. Sentezlenen örneklerin yüzey morfolojileri ZEISS marka Gemini SEM 500-71-08 Model SEM (Taramalı elektron mikroskobu) cihazı kullanılarak incelenmiştir. Aynı cihaz kullanılarak numunelere Enerji Dağılım X-Işınlari analizi (EDS) yapılmış ve bu analiz ile yapıdaki PSS ve SnO<sub>2</sub> miktarı yüzde cinsinden kalitatif olarak belirlenmiştir. Sentezlenen örneklerin XRD analizleri Rigaku DMAX IIIC model X-ışınları difraktometresi (35 kW, 15 mA, CuK $\alpha$ , 1,541871 Å) kullanılarak 2°/dk. tarama hızında gerçekleştirilmiştir. XRD analizi, çalışmada hazır olarak kullanılan ve parçacık boyutu TEM analizi ile 16,4 nm olarak belirlenen PEG-SnO<sub>2</sub> nanoparçacıklarının ortalama kristalit tane büyüklüğünün hesaplanmasında kullanılmıştır. Ortalama SnO<sub>2</sub> kristalit boyutu, (110), (101), (211) (200), (220), (310) ve (301) yansıma düzlemlerinin pik (2 $\theta$ ) yarı yüksekliğindeki tam genişlikleri ve 0.89 K faktörü kullanılarak Scherrer denkleminde hesaplandı:

$$d_{XRD} = 0,89\lambda / \beta \cos\theta$$

burada  $\lambda$ : X-ray Dalga boyu (1.541871 Å),  $\beta$ : pik yarı yükseklik tam genişlikleri,  $\theta$ : Bragg açısıdır (Zamand, Pour, Housaindokht, & Izadyar, 2014).

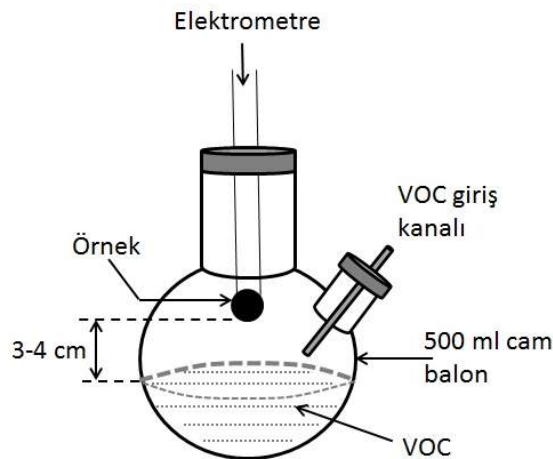
PEG-SnO<sub>2</sub> nanoparçacıklarının PSS ile kapsülleme oranı aşağıdaki denklemlerle hesaplanmıştır:

$$\% \omega = (\omega_1 \times M_3) / (3M_1 + 100)$$

Burada  $\omega$ , SnO<sub>2</sub>'nin kapsülleme oranıdır,  $\omega_1$  kompozitteki Na'un kütle yüzdesidir. M<sub>1</sub>, Na'un nispi atom kütesidir, ayrıca M<sub>3</sub>, PSS monomerinin molekül ağırlığıdır (Shi vd., 2014).

## 2.5. VOC Gazlarına Karşı Gaz Sensör Özelliklerinin İncelenmesi

Doğru VOC buharlarına karşı örneklerin oda sıcaklığındaki duyarlılığı, örneklerin elektriksel dirençleri iki nokta (two probe) tekniği ile Thurlby elektrometre kullanılarak oda sıcaklığında kapalı kaptaki ölçülmesiyle incelendi. Örnekler havanda ezilerek 3 dakika boyunca 7 ton basınç altında pelet oluşturulacak şekilde hazırlanarak VOC yüzeyinden 3-4 cm yükseklikte cam balonun içerisine yerleştirildi ve sensör duyuna bağlandı (Şekil 1). Örnekler uygun zaman aralıklarında doğru VOC buharlarına maruz bırakılarak oda sıcaklığında dirençlerindeki değişimler incelenerek gaz duyarlılıkları belirlendi.



Şekil 1. VOC gaz algılama deney sistemi



Sensör duyarlılıkları aşağıda verilen eşitlikler kullanılarak hesaplandı:

$$\%S = \Delta R / \rho_0 \times 100$$

$$\Delta R = \rho_0 - \rho_b$$

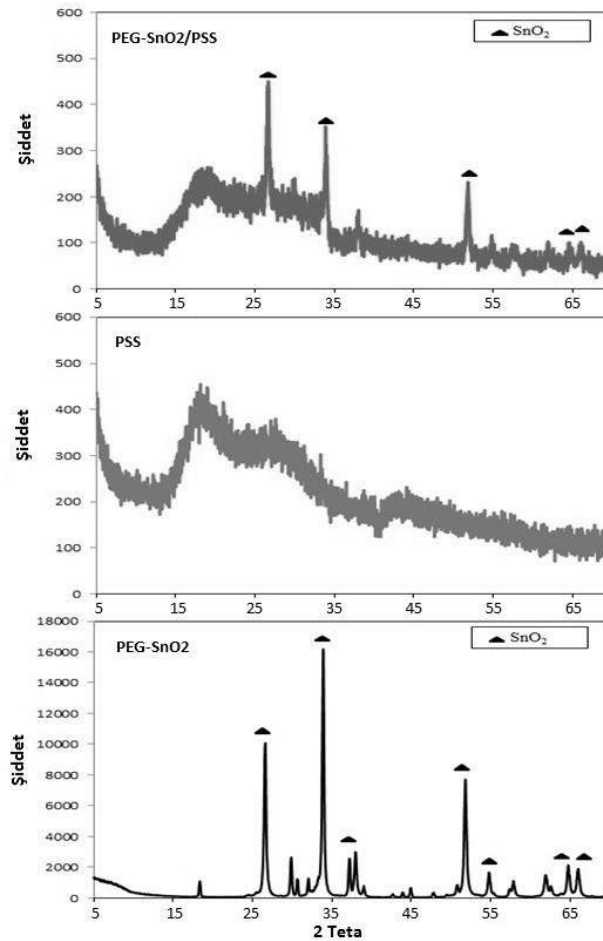
Örnek peletinin havadaki ve VOC buharındaki dirençleri sırasıyla  $\rho_0$  ve  $\rho_b$  ile gösterilmektedir (Athawale & Kulkarni, 2000; Kondawar, Agrawal, Nimkar, Sharma, & Patil, 2012).

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Hazırlanan PEG-SnO<sub>2</sub>/PSS Nanokompozitinin Karakterizasyonu

##### 3.1.1. XRD

PEG kullanılarak sentezlenen SnO<sub>2</sub> örneğinin XRD difraktogramında bütün dağılım pikleri SnO<sub>2</sub>'e ait görünmektedir. Ayrıca tepkimeye girmemiş Sn veya SnO gibi safsızlıklardan oluşabilecek yansıma piklerinin görülmemesi örneğin yüksek saflıkta elde edildiğini göstermektedir. Bununla birlikte, örneklerin yüksek saflıkta olduğunu gösteren SnO<sub>2</sub>'in tetragonal kafesinin (110), (101), (211) yansıma düzlemlerine karşılık gelen  $2\theta = 26,6^\circ$ ,  $33,9^\circ$  ve  $51,9^\circ$  deki 3 piki de Şekil 2'den görülmektedir (Farrukh, Heng, & Adnan, 2010).



Şekil 2. PSS, PEG-SnO<sub>2</sub> ve PEG-SnO<sub>2</sub>/PSS'nin XRD difraktogramları.

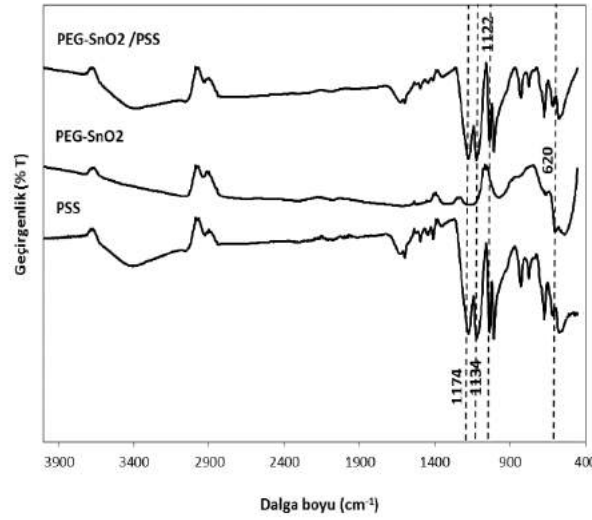
Kristal SnO<sub>2</sub> nanoparçacıklarının açıkça ayırt edilebilen diğer difraksiyon pikleri de sırasıyla (200), (220), (310) ve (301) yansıma düzlemleri ile ilişkilendirilen  $2\theta$ :  $37,9^\circ$ ,  $54,7^\circ$ ,  $61,9^\circ$  ve  $65,9^\circ$  deki pikleri de örneğimizin XRD difraktogramında belirgin bir şekilde görülebilmektedir (Şekil 2) (Firooz, Mahjoub, & Khodadadi, 2011; Patil, Kajale, Gaikwad, & Jain, 2012; Zhao vd., 2011). Ayrıca, çalışmada parçacık boyutu 16,4 nm olarak belirlenip kullanılan PEG-SnO<sub>2</sub> nanoparçacıklarının ortalama kristalit tane büyüklüğü XRD analiz sonuçlarına göre Tablo 1'de görüldüğü gibi 24,74 nm olarak belirlenmiştir. Kompozitin XRD difraktogramında, hem SnO<sub>2</sub>'nin pikleri hem de PSS'nin pikleri, Şekil 2'den açıkça görülebilir. Ayrıca, PEG-SnO<sub>2</sub>/PSS nanokompozitinin pik şiddeti, SnO<sub>2</sub> yüzeyi üzerine kaplanan PSS varlığı ile azalmıştır.

Tablo 1. PEG-SnO<sub>2</sub> Nanoparçacıklarının XRD Analiz Sonuçlarından Elde Edilen Parametreleri

(hkl) yansıma düzlemleri	2θ (°)	FWHM (°)	Parçacık boyutu (nm)
(110)	26,6	0,3122	25,88
(101)	33,9	0,2773	29,66
(211)	51,9	0,3527	24,78
(200)	37,9	0,2933	28,28
(220)	54,7	0,3841	23,05
(310)	61,9	0,4787	19,15
(301)	65,9	0,4163	22,36
Ortamala parçacık boyutu (nm):			24,74

### 3.1.2. FTIR

PSS, PEG-SnO<sub>2</sub> ve PEG-SnO<sub>2</sub>/PSS nanokompozitlerinin FTIR spektrumları Şekil 3'de görülmektedir.

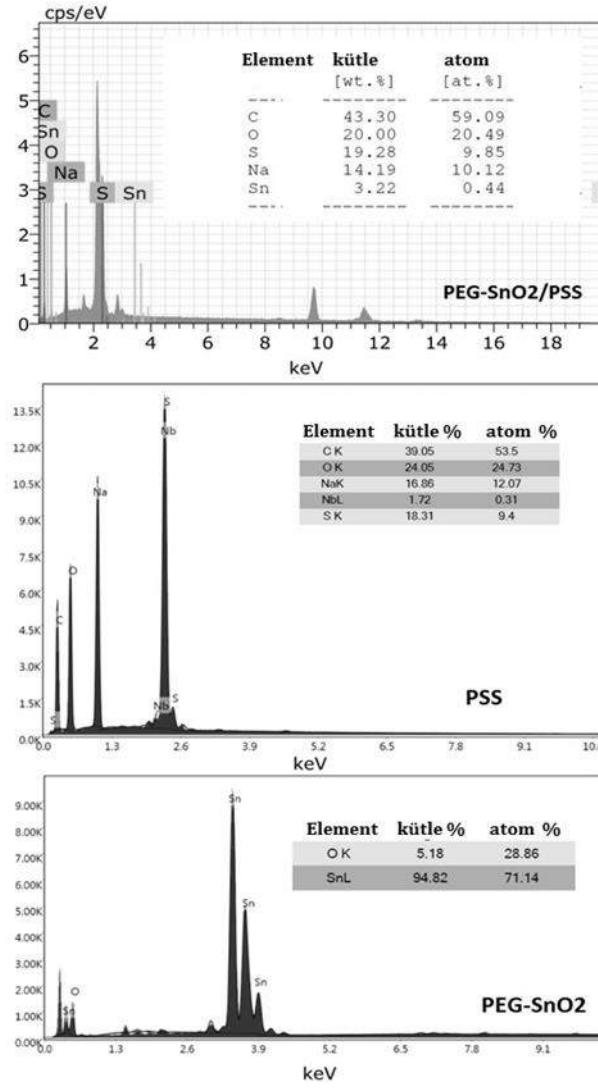


Şekil 3. PSS, PEG-SnO<sub>2</sub> ve PEG-SnO<sub>2</sub>/PSS'nin FTIR spektrumları.

3430 cm<sup>-1</sup>'deki geniş pik örneklerin yüzeyine absorplanan su molekülleri veya hidroksil gruplarının gerilme titreşimlerinden dolayıdır (Adnan, Razana, Rahman, & Farrukh, 2010). PEG-SnO<sub>2</sub>/PSS spektrumunda kaydedilen 1174, 1122 ve 1134 cm<sup>-1</sup>'deki yeni absorpsiyon bantları, PSS'nin karakteristik absorpsiyon bantlarıdır. 620 cm<sup>-1</sup>'deki bant, O-Sn-O fonksiyonel grubunun karakteristik bandına aittir (Farrukh vd., 2010).

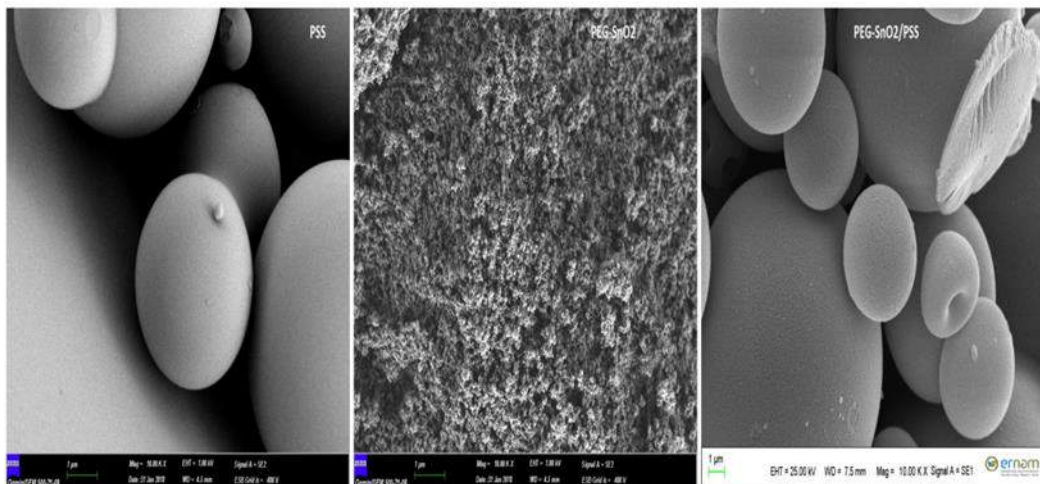
### 3.1.2. SEM

Şekil 4'de görülen PEG-SnO<sub>2</sub>/PSS nanokompozitinin kimyasal bileşimi SEM-EDS tekniği ile incelendi. SnO<sub>2</sub> nanoparçacıklarından Sn ve O piki ve PSS'den gelen C ve S pikleri Şekil 4'de kompozitin yapısında açıkça görülmektedir (Guo & Li, 2016). Bu sonuçlar, PEG-SnO<sub>2</sub>/PSS nanokompozitlerinin bileşiminin başarılı bir şekilde sentezlendiğini göstermektedir. Nanokompozitin EDS sonuçları SnO<sub>2</sub> yüzeyinin, % 39,53'lük bir kapsülleme oranı ile güçlü π-π etkileşimleri altında PSS ile kaplandığını göstermektedir.



Şekil 4. PSS, PEG-SnO<sub>2</sub> ve PEG-SnO<sub>2</sub>/PSS'nin EDS spektrumları.

Şekil 5'de görülen PSS, PEG-SnO<sub>2</sub> nanoparçacıkları ve PEG-SnO<sub>2</sub>/PSS nanokompozitinin morfolojisi SEM tekniği ile incelendi. SEM görüntüleri PSS'nin küresel makro tanecik gösterdiği, PEG-SnO<sub>2</sub> nanoparçacıklarının bu taneciklerle kaplandığı ve PEG-SnO<sub>2</sub>/PSS kompozitinde PSS morfolojisinin hakim olduğu şekilde anlaşılmaktadır. Ayrıca, SnO<sub>2</sub> nanoparçacıklarının morfolojik yapısının, PSS ile kompozitleri hazırlandığında PSS polimeri ile kaplanarak nanoyapıdan mikroküre yapıya dönüştüğü açıkça görülmektedir.



Şekil 5. PSS, PEG-SnO<sub>2</sub> ve PEG-SnO<sub>2</sub>/PSS'nin SEM görüntüleri.

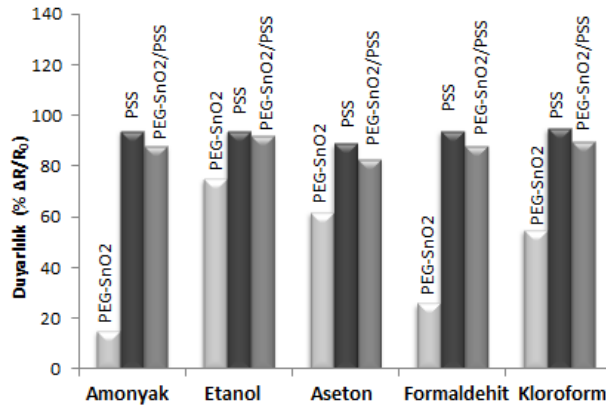
### 3.2. Gaz Algılama Özelliklerinin İncelenmesi

Farklı VOC gazlarına karşı, PEG kullanılarak sentezlenen SnO<sub>2</sub> nanoparçacıklarının, PSS ve PEG-SnO<sub>2</sub>/PSS nanokompozitinin gaz algılama özelliklerinin incelenmesi doygun VOC buharlarına maruz bırakıldıklarında gösterdikleri duyarlılıkları karşılaştırılarak yapıldı. Bu amaçla amonyak, etanol, aseton, formaldehit ve kloroform çözücüler seçilmiştir. Tablo 2'den de görüldüğü gibi en yüksek duyarlılığın etanol gazı varlığında olduğu gözlemlendi ve bu gaz seçilerek duyarlılığın tekrarlanabilirliği incelendi (Şekil 6).

Tablo 2. PEG-SnO<sub>2</sub> Nanoparçacıklarının, PSS ve PEG-SnO<sub>2</sub>/PSS Nanokompozitinin Çeşitli Doymun VOC Buharlarına Karşı Oda Sıcaklığındaki Duyarlılıkları

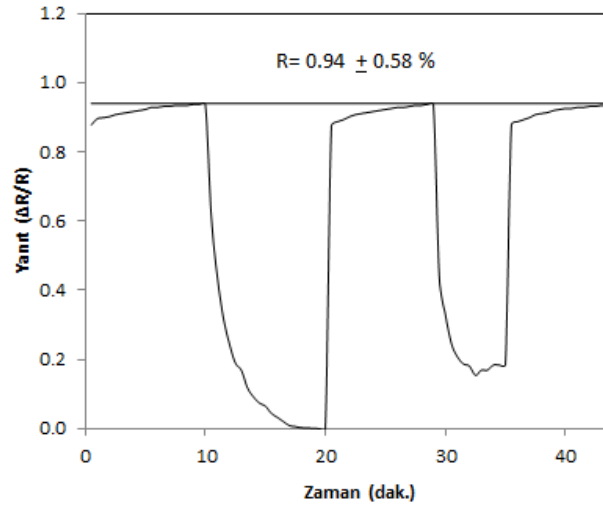
VOC buharları	Örnekler ( $\Delta R/R$ )*100		
	PEG-SnO <sub>2</sub> (%)	PSS (%)	PEG-SnO <sub>2</sub> /PSS (%)
Amonyak	15	94	88
Etanol	75	94	92
Aseton	62	89	83
Formaldehit	26	94	88
Kloroform	55	95	90

Diğer gazlarla karşılaştırıldığında etanol buharına karşı PEG-SnO<sub>2</sub> örneği %75 oranında en yüksek buhar algılamasına sahiptir. PSS örneği ise bütün gazlara karşı yüksek gaz algılama özelliğine sahiptir. PSS ile SnO<sub>2</sub> nanoparçacıkları kapsülendiği zaman PSS'nin SnO<sub>2</sub> nanoparçacıklarının düşük olarak sergilediği gaz algılama özelliklerini iyileştirdiği Şekil 6'dan açıkça görülebilmektedir. PEG-SnO<sub>2</sub>/PSS nanokompoziti ise en yüksek etanol buharına karşı % 92'lik duyarlılık göstermektedir.

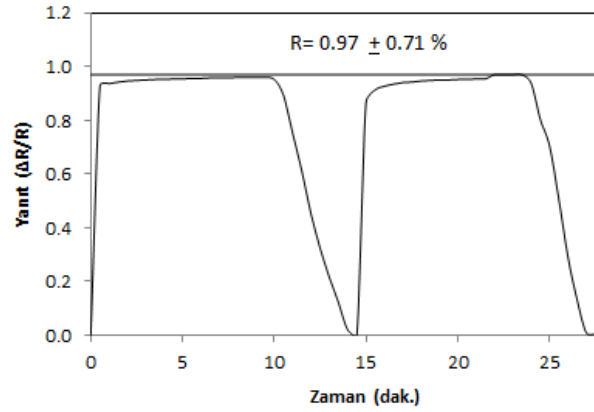


Şekil 6. PEG-SnO<sub>2</sub> nanoparçacıklarının, PSS ve PEG-SnO<sub>2</sub>/PSS Nanokompozitinin çeşitli doygun VOC buharlarına karşı oda sıcaklığındaki duyarlılıkları.

Etanol buharına karşı PSS ve PEG-SnO<sub>2</sub>/PSS nanokompoziti en yüksek duyarlılığa sahip olduğu gözlemlendikten sonra, aynı örneğin doygun alkol buharı-hava döngüsünde duyarlılığının tekrarlanabilirliği incelendi. Bu amaçla etanol buharı ile doyurulan örnek, havaya açıldıktan sonra dengeye gelinceye kadar beklendi ve tekrar etanol buharına maruz bırakıldı. Bu işlem ard arda tekrarlanarak örneğin kaç kez tepki verebildiği gözlemlendi. PSS ve PEG-SnO<sub>2</sub>/PSS nanokompozitinin sırasıyla üç ve iki döngü verdiği görüldü (Şekil 7 ve 8). PSS ve PEG-SnO<sub>2</sub>/PSS nanokompozitinin etanol buharı için sırasıyla  $0,94 \pm 0,58\%$  ve  $0,97 \pm 0,71\%$  değerleriyle iyi derecede tepki kararlılığına (response stability) sahip olduğu söylenebilir.



Şekil 7. Doygun etanol buharına karşı PSS'nin oda sıcaklığında gaz duyarlılığının tekrarlanabilirliği.



Şekil 8. Doygun etanol buharına karşı PEG-SnO<sub>2</sub>/PSS nanokompozitinin oda sıcaklığında gaz duyarlılığının tekrarlanabilirliği.

Literatürde, VOC gaz algılama özelliklerinin incelenmesi için SnO<sub>2</sub>/PSS nanokompozitleri ile ilgili çalışmalara rastlanmamıştır. Ancak, SnO<sub>2</sub> nanomalzemeleri ile çeşitli organik-inorganik nanokompozitlerin (OIN), polimer nanokompozitlerin (PN) ve polimerlerin (P) gaz algılama özellikleri incelenmiştir. Athawale ve Kulkarni (2000), polianilin (PAni) türevleri olan poli o-toluidin (Po-Tol) , poli o-anisidin (Po-Anis) , poli N-metil anilin (PNMA) , poli N-etil anilin (PNEA), poli 2,3 dimetil anilin (P2,3-DMA), poli 2,5 dimetil anilin (P2,5-DMA) ve poli difenil amin (PDPA) polimerlerinin oda sıcaklığındaki çeşitli VOC buharlarına karşı gaz duyarlılıklarını incelemişlerdir. Çeşitli polimerlerin yanı sıra, Kondowar ve arkadaşları (2012) PAni ile önceden sentezlenmiş SnO<sub>2</sub> (PANI/SnO<sub>2</sub>(A)) ve anilinin polimerizasyonu boyunca kalay klorür kullanarak (PANI/SnO<sub>2</sub>(B)) hazırladıkları nanokompozitlerin oda sıcaklığındaki çeşitli VOC buharlarına karşı gaz duyarlılıklarını incelemişlerdir. Deshpande ve arkadaşları (2009) da PAni ile SnO<sub>2</sub> nanokompozitleri (PANI/SnO<sub>2</sub>) sentezleyerek amonyak gaz algılama özelliklerini incelemişlerdir. Tung ve arkadaşları (2014), poli(3,4-etilen dioksitiyofen) (PEDOT) ve poli(iyoik sıvı) (PIL) ile manyetik nanopartikül-kaplı indirgenmiş grafen oksit gaz sensör malzemesi (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-IGO/PIL) sentezlemişlerdir. Castro ve arkadaşları (2011), poli(laktik asit) (PLA) ve poli(metil metakrilat) (PMMA) gibi farklı polimer matrisi ile CNT miktarını optimize ederek hiyerarşik olarak yapılandırılmış iletken polimer nanokompozitlerden (CPC) oluşan (PMMA-%1CNT ve PLA-%1CNT) elektronik burun (e-burun) tasarlamışlardır. Literatürde bildirilen bu çalışmaların VOC duyarlılık sonuçları Tablo 3'de verilmiştir. PSS ile SnO<sub>2</sub> nanoparçacıklarının kapsülmesi ile diğer çalışmalarda kullanılan malzemelere göre doygun VOC buharına karşı gaz algılama özelliklerinin iyileştirildiği açıkça görülmektedir. Bu sonuçlara göre PSS kullanımı ile diğer birçok malzemenin gaz sensör özelliklerinin iyileştirilebileceği ve PSS'in gaz sensör malzemesi olarak kullanılabilmesi öngörülmüştür.

Tablo 3. Bu çalışmada bildirilen VOC duyarlılığının literatürdeki çeşitli yarı iletkenler için bildirilenlerle karşılaştırılması

Algılama malzemesi	Morfoloji	Çalışma sıcaklığı	Duyarlılık	Tarama derişi	VOC buharları	Tekrarlanabilirlik	Kaynak
			( $\Delta R/R$ ) $\times 100$			(döngü sayısı)	
PAni	P	oda sıcaklığı	74,66	doygun buhar	etanol	-	(Athawale & Kulkarni, 2000)



<i>Po-Tol</i>	P	oda sıcaklığı	60	doygun buhar	etanol	-	(Athawale & Kulkarni, 2000)
<i>Po-Anis</i>	P	oda sıcaklığı	57	doygun buhar	etanol	-	(Athawale & Kulkarni, 2000)
<i>PNMA</i>	P	oda sıcaklığı	40	doygun buhar	etanol	-	(Athawale & Kulkarni, 2000)
<i>PNEA</i>	P	oda sıcaklığı	48,97	doygun buhar	etanol	-	(Athawale & Kulkarni, 2000)
<i>P2,3-DMA</i>	P	oda sıcaklığı	61,53	doygun buhar	etanol	-	(Athawale & Kulkarni, 2000)
<i>P2,5-DMA</i>	P	oda sıcaklığı	76,25	doygun buhar	etanol	-	(Athawale & Kulkarni, 2000)
<i>PDPA</i>	P	oda sıcaklığı	54,45	doygun buhar	etanol	-	(Athawale & Kulkarni, 2000)
<i>PANI/SnO<sub>2</sub>(A)</i>	PN	oda sıcaklığı	91,7	15%	amonyak	-	(Kondawar vd., 2012)
<i>PANI/SnO<sub>2</sub>(B)</i>	PN	oda sıcaklığı	15,6	15%	amonyak	-	(Kondawar vd., 2012)
<i>PANI/SnO<sub>2</sub></i>	PN	oda sıcaklığı	16	300 ppm	amonyak	3	(Deshpande vd., 2009)
<i>Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-IGO/PIL</i>	OIN	oda sıcaklığı	80	doygun buhar	kloroform	-	(Tung vd., 2014)
<i>Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-IGO/PIL</i>	OIN	oda sıcaklığı	55	doygun buhar	etanol	-	(Tung vd., 2014)
<i>Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-IGO/PIL</i>	OIN	oda sıcaklığı	15	doygun buhar	aseton	-	(Tung vd., 2014)
<i>PMMA-%1CNT</i>	PN	oda sıcaklığı	12	doygun buhar	etanol	-	(Castro vd., 2011)
<i>PLA-%1CNT</i>	PN	oda sıcaklığı	67	doygun buhar	etanol	-	(Castro vd., 2011)
<i>PEG-SnO<sub>2</sub>/PSS</i>	PN	oda sıcaklığı	92	doygun buhar	etanol	2	Bu çalışma
<i>PEG-SnO<sub>2</sub>/PSS</i>	PN	oda sıcaklığı	90	doygun buhar	kloroform	-	Bu çalışma
<i>PEG-SnO<sub>2</sub>/PSS</i>	PN	oda sıcaklığı	88	doygun buhar	amonyak	-	Bu çalışma
<i>PEG-SnO<sub>2</sub>/PSS</i>	PN	oda sıcaklığı	83	doygun buhar	aseton	-	Bu çalışma

#### 4. Sonuç

PEG-SnO<sub>2</sub>/PSS nanokompoziti daha önce sentezlenen, 24,74 nm boyutundaki SnO<sub>2</sub> nanoparçacıkları kullanılarak başarılı bir şekilde hazırlandı. FTIR ve XRD analizleri SnO<sub>2</sub> nanoparçacıklarının PSS polimer yapısına katıldığını göstermektedir. Morfolojik analizler, SnO<sub>2</sub> nanoparçacıklarının morfolojik yapısının, PSS ile kompozitleri hazırlandığında PSS polimeri ile kaplanarak nanoyapıdan mikroküre yapılara dönüştüğünü göstermektedir. EDS sonuçlarından hesaplanan değerler, SnO<sub>2</sub> yüzeyinin, güçlü  $\pi$ - $\pi$  etkileşimleri altında PSS ile % 39,53'lük bir kapsülleme oranı ile kaplandığını göstermiştir.

Bu örneklerin uçucu organik bileşen (VOC) buharlarına (amonyak, etanol, aseton, formaldehit ve kloroform) karşı oda sıcaklığındaki gaz duyarlılıklarının incelenmesi sonucu PEG-SnO<sub>2</sub> nanoparçacıklarının %75 oranında etanol gazı için yüksek algılama performansı sergilediği görüldü. Hazırlanan örnekler içerisinde PSS'nin amonyak, etanol, aseton, formaldehit ve kloroform gazlarının hepsine karşı sırasıyla %94, 94, 89, 94 ve 95 oranlarında yüksek duyarlılık gösterdiği ve bu oranlar sırasıyla SnO<sub>2</sub> nanoparçacıklarında % 15, 75, 62, 26 ve 55 iken PSS ile kapsüllemesiyle elde edilen kompozitte sırasıyla % 88, 92, 83, 88 ve 90 oranlarına yükseltilmiştir. PSS ile SnO<sub>2</sub> nanoparçacıklarının kapsüllemesi, PSS'nin SnO<sub>2</sub> nanoparçacıklarının düşük olarak sergilediği gaz algılama özelliklerini iyileştirdiğini göstermiştir. Bu sonuçlara göre PSS ile metal oksitlerin gaz sensör malzemesi olarak kullanım potansiyelinin artırılabilirliği söylenebilir.

## 5. Teşekkür

Bu çalışma, Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) Komisyonu tarafından M-616 Nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

## Kaynakça

- Adamczyk, Z., Jachimska, B., Jasiński, T., Warszyński, P., & Wasilewska, M. (2009). Structure of poly (sodium 4-styrenesulfonate) (PSS) in electrolyte solutions: Theoretical modeling and measurements. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 343(1–3), 96–103. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2009.01.035>
- Adnan, R., Razana, N. A., Rahman, I. A., & Farrukh, M. A. (2010). Synthesis and characterization of high surface area tin oxide nanoparticles via the sol-gel method as a catalyst for the hydrogenation of styrene. *Journal of the Chinese Chemical Society*, 57(2), 222–229. <https://doi.org/10.1002/jccs.201000034>
- Andre, R. S., Chen, J., Kwak, D., Correa, D. S., Mattoso, L. H. C., & Lei, Y. (2017). A flexible and disposable poly(sodium 4-styrenesulfonate)/polyaniline coated glass microfiber paper for sensitive and selective detection of ammonia at room temperature. *Synthetic Metals*, 233(July), 22–27. <https://doi.org/10.1016/j.synthmet.2017.08.005>
- Andre, R. S., Pereira, J. C., Mercante, L. A., Locilento, D., Mattoso, L. H. C., & Correa, D. S. (2018). ZnO-Co3O4 heterostructure electrospun nanofibers modified with poly(sodium 4-styrenesulfonate): Evaluation of humidity sensing properties. *Journal of Alloys and Compounds*, 767, 1022–1029. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.07.132>
- Athawale, A. A., & Kulkarni, M. V. (2000). Polyaniline and its substituted derivatives as sensor for aliphatic alcohols. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 67(1), 173–177. [https://doi.org/10.1016/S0925-4005\(00\)00394-4](https://doi.org/10.1016/S0925-4005(00)00394-4)
- Boran, F. (2016). *Grafen- İnorganik Nanokompozitlerinin Hazırlanması, Karakterizasyonu ve Gaz Sensör Özelliklerinin İncelenmesi*. (Doktora tezi), Cumhuriyet Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Boran, F., & Çetinkaya, S. (2016). Influence of Reaction Time on the Size of SnO 2 Nanospheres and Its Sensing Properties to VOC Gases. *International Journal of Biological and Medical Science*, 1(2), 1–4. Retrieved from <http://iakkurt.dergipark.gov.tr/ijbimes>
- Boran, F., & Çetinkaya, S. (2017). Synthesis, characterization and sensing behavior of WO3 nanocrystalline powder for toluene vapor. *Acta Physica Polonica A*, 132(3). <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.132.572>
- Boran, F., Çetinkaya, S., & Şahin, M. (2017). Effect of surfactant types on the size of tin oxide nanoparticles. *Acta Physica Polonica A*, 132(3), 546–548. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.132.546>
- Castro, M., Kumar, B., Feller, J. F., Haddi, Z., Amari, A., & Bouchikhi, B. (2011). Novel e-nose for the discrimination of volatile organic biomarkers with an array of carbon nanotubes (CNT) conductive polymer nanocomposites (CPC) sensors. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 159(1), 213–219. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2011.06.073>
- Deshpande, N. G., Gudage, Y. G., Sharma, R., Vyas, J. C., Kim, J. B., & Lee, Y. P. (2009). Studies on tin oxide-intercalated polyaniline nanocomposite for ammonia gas sensing applications. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 138(1), 76–84. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2009.02.012>
- Du, A. K., Yang, K. L., Zhao, T. H., Wang, M., & Zeng, J. B. (2016). Poly(sodium 4-styrenesulfonate) wrapped carbon nanotube with low percolation threshold in poly( $\epsilon$ -caprolactone) nanocomposites. *Polymer Testing*, 51, 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2016.02.008>
- Farrukh, M. A., Heng, B. T., & Adnan, R. (2010). Surfactant-controlled aqueous synthesis of SnO2 nanoparticles via the hydrothermal and conventional heating methods. *Turkish Journal of Chemistry*, 34(4), 537–550. <https://doi.org/10.3906/kim-1001-466>
- Fenoy, G. E., Schueren, Benoit Van der Scotto, J., Boulmedais, F., Ceolin, M. R., Bégin-Colin, S., Bégin, D., & Marmisollé, Waldemar A. Azzaroni, O. (2018). Layer-by-layer assembly of iron oxide-decorated few-layer graphene/PANI:PSS composite films for high performance supercapacitors operating in neutral aqueous electrolytes. *Electrochimica Acta*, 283, 1178–1187. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2018.07.085>
- Firooz, A. A., Mahjoub, A. R., & Khodadadi, A. A. (2011). Hydrothermal synthesis of ZnO/SnO2 nanoparticles with high photocatalytic activity. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 76(4), 138–140.
- Guo, Q., & Li, M. (2016). Electrodeposition of poly(sodium 4-styrenesulfonate)-silver nanocomposites for electrochemical detection of H2O2. *International Journal of Electrochemical Science*, 11(9), 7705–7713. <https://doi.org/10.20964/2016.09.14>
- Kondawar, S. B., Agrawal, S. P., Nimkar, S. H., Sharma, H. J., & Patil, P. T. (2012). Conductive polyaniline-tin oxide nanocomposites for ammonia sensor. *Advanced Materials Letters*, 3(5), 393–398. <https://doi.org/10.5185/amlett.2012.6361>
- Li, L., Ferng, L., Wei, Y., Yang, C., & Ji, H. F. (2012). Effects of acidity on the size of polyaniline-poly(sodium 4-styrenesulfonate) composite particles and the stability of corresponding colloids in water. *Journal of Colloid and Interface Science*, 381(1), 11–16. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2012.05.004>
- Lucattini, L., Poma, G., Covaci, A., de Boer, J., Lamoree, M. H., & Leonards, P. E. G. (2018). A review of semi-volatile organic compounds (SVOCs) in the indoor environment: occurrence in consumer products, indoor air and dust. *Chemosphere*, 201, 466–482. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.02.161>
- Mirza, A. Z., & Shamshad, H. (2019). Fabrication and characterization of doxorubicin functionalized PSS coated gold nanorod. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(1), 146–150. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.08.009>
- Patil, G. E., Kajale, D. D., Gaikwad, V. B., & Jain, G. H. (2012). Preparation and characterization of SnO2 nanoparticles by hydrothermal route. *International Nano Letters*, 2(1), 2–6. <https://doi.org/10.1186/2228-5326-2-17>
- Shi, P. W., Li, Q. Y., Li, Y. C., & Wu, C. F. (2014). Preparation and characterization of poly(sodium 4-styrenesulfonate)-decorated hydrophilic carbon black by one-step in situ ball milling. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 443, 135–140. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2013.10.060>

- Tran, M. H., Yang, C. S., & Jeong, H. K. (2016). Fast and economical reduction of poly (sodium 4-styrene sulfonate) graphite oxide film by plasma. *Electrochimica Acta*, 196, 769–774. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2016.03.004>
- Tung, T. T., Castro, M., Pillin, I., Kim, T. Y., Suh, K. S., & Feller, J. F. (2014). Graphene-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/PIL-PEDOT for the design of sensitive and stable quantum chemo-resistive VOC sensors. *Carbon*, 74, 104–112. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2014.03.009>
- Weschler, C. J. (2009). Changes in indoor pollutants since the 1950s. *Atmospheric Environment*, 43(1), 153–169. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.044>
- Yu, H. W., Kim, H. K., Kim, T., Bae, K. M., Seo, S. M., Kim, J. M., ... Kim, Y. H. (2014). Self-powered humidity sensor based on graphene oxide composite film intercalated by poly(sodium 4-styrenesulfonate). *ACS Applied Materials and Interfaces*, 6(11), 8320–8326. <https://doi.org/10.1021/am501151v>
- Zamand, N., Pour, A. N., Housaindokht, M. R., & Izadyar, M. (2014). Size-controlled synthesis of SnO<sub>2</sub> nanoparticles using reverse microemulsion method. *Solid State Sciences*, 33, 6–11. <https://doi.org/10.1016/j.solidstatesciences.2014.04.005>
- Zhang, L., Xu, Z., & Dong, S. (2006). Electrogenerated chemiluminescence biosensor based on Ru(bpy)<sub>3</sub><sup>2+</sup> and dehydrogenase immobilized in sol-gel/chitosan/poly(sodium 4-styrene sulfonate) composite material. *Analytica Chimica Acta*, 575(1), 52–56. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2006.05.069>
- Zhang, Z., & Xu, X. (2014). Wrapping carbon nanotubes with poly (sodium 4-styrenesulfonate) for enhanced adsorption of methylene blue and its mechanism. *Chemical Engineering Journal*, 256, 85–92. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.06.020>
- Zhao, B., Zhang, G., Song, J., Jiang, Y., Zhuang, H., Liu, P., & Fang, T. (2011). Bivalent tin ion assisted reduction for preparing graphene/SnO<sub>2</sub> composite with good cyclic performance and lithium storage capacity. *Electrochimica Acta*, 56(21), 7340–7346. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2011.06.037>



# Analitik Kimya Laboratuvarında Sorgulama Temelli Sistemik Kalitatif Katyon Analizi Deneylerinin Bilimsel Süreç Becerilerine Yansımaları

Nalan Akkuzu Güven<sup>1\*</sup>, Melis Arzu Uyulgan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Buca Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3374-7293)

<sup>2</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Buca Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2815-2642)

(İlk Geliş Tarihi 11 Eylül 2019 ve Kabul Tarihi 27 Ekim 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.618342)

**ATIF/REFERENCE:** Akkuzu Güven, N. & Uyulgan, M. A. (2019). Analitik Kimya Laboratuvarında Sorgulama Temelli Sistemik Kalitatif Katyon Analizi Deneylerinin Bilimsel Süreç Becerilerine Yansımaları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 423-436.

## Öz

Araştırma ve sorgulama sürecinde yürütülen laboratuvar ortamında teorik bilgi ve uygulamanın ilişkilendirilmesi derin düşünme ve yansıtma aracılığıyla gerçekleşmektedir. Sorgulama temelli deneyler ile öğrencilerin bu ilişkilendirmeyi yapabilmesi bilimsel süreç becerilerinin geliştirilmesi ile mümkündür. Bu doğrultuda araştırmanın amacı, I diyagramı aracı kullanılarak gerçekleştirilen sorgulama temelli sistemik kalitatif katyon analizi deneylerinde öğrencilerin bilimsel süreç becerilerinin gelişimini incelemektir. Bu araştırma nitel araştırma yöntem ve teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Nitel araştırma yöntemleri kapsamında özel durum çalışması kullanılmıştır. Araştırmada incelenen durum, rehberli sorgulamaya dayalı öğrenme yaklaşımının uygulandığı bir süreçte üniversite düzeyindeki öğrencilerin Sistemik Kalitatif Katyon Analizi deneylerindeki bilimsel süreç becerilerinin değişimini izlemektir. Bu araştırmanın katılımcılarını bir devlet üniversitesinin Eğitim Fakültesi Kimya Öğretmenliği Programında öğrenim gören ve Analitik Kimya Laboratuvarı-I dersini alan toplam 31 öğrenci oluşturmaktadır. Araştırmada veri toplama araçları olarak I diyagramı aracı ve Laboratuvar Yeterlilikleri Testi (LYT) kullanılmıştır. Veri analizinde I diyagramı dokümanları analitik puanlama anahtarı ile puanlandırılmıştır. LYT verileri ise Analitik Kriter Ölçeği ile doğruluk seviyelerine göre analiz edilmiştir. Araştırma toplam 10 hafta boyunca yürütülmüştür. I diyagramı aracından elde edilen sonuçlar öğrencilerin daha çok mantıksal tartışma, deneysel tasarım, veri toplama, veri dönüştürme ve sonuçlar bölümlerinde geliştiklerini göstermektedir. Hipotez yazma, deney tasarımı ve tahmin yürütme gibi becerileri kapsayan mantıksal tartışma bölümündeki gelişim ile öğrencilerin bilimsel süreç becerilerinden nedensel ve deneysel becerilerinin de geliştiği söylenebilir. LYT verilerinden elde edilen sonuçlar ise öğrencilerde gözlem yapma ve reaksiyon yazma becerilerinin zaman içinde geliştiğini, deneysel işlemlere dair çıkarım yapma becerilerinde oldukça yüksek bir artış olduğunu göstermiştir. Teste verilen tam doğru cevaplarda da sorgulama temelli süreç sonunda bir artış olduğu belirlenmiştir. Bu durum öğrencilerin deneyler sırasında elde ettikleri bilgi ve tecrübeleri ile yapılan gözlemleri daha iyi yorumlayabildiklerini ve dolayısıyla soru ile ilgili bilimsel fikirlerin bir kısmına veya hepsine sahip olduklarını göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Analitik kimya laboratuvarı, Sistemik kalitatif katyon analizi, Sorgulama temelli yaklaşım, Bilimsel süreç becerileri.

\* Sorumlu Yazar: Dokuz Eylül Üniversitesi, Buca Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, İzmir, Türkiye, ORCID: 0000-0003-3374-7293, [nalan.akkuzu@gmail.com](mailto:nalan.akkuzu@gmail.com)

# Reflection of Inquiry Based Systematic Qualitative Analysis of Cation Experiments in Analytical Chemistry Laboratory on Science Process Skills

## Abstract

The theoretical knowledge and practice are connected through deep thinking and reflection during the research and inquiry process in the laboratory environment. Throughout the inquiry-based experiments, students can make this connection by developing their science process skills. In this respect, the aim of this study is to examine the development of students' science process skills in the Systematic Qualitative Analysis of Cation (SQAC) experiments conducted using I diagram tool. This research was carried out using qualitative research methodology. Case study was applied within the scope of qualitative research methods. The case examined in the research is to monitor the change of the science process skills of SQAC experiments of university level students in a process where guided inquiry-based learning approach is applied. The participants of this research consisted of 31 students studying in the Faculty of Education's Chemistry Teaching program of a state university and attending the Analytical Chemistry Laboratory-I course. In the research, I diagram tool and Laboratory Proficiency Test (LPT) were used as data collection tools. In data analysis, I diagram documents were scored with an analytical scoring key. LPT data was analyzed according to the accuracy level with analytical criterion scale. The study was conducted for a total of 10 weeks. The results obtained from I diagram tools showed that the students mostly developed in logical argument, experimental design, data collection, data transformation and results sections. The results also inferred that the development of causal and experimental skills of students from science process skills was improved with the development of logical argument section which included skills such as hypothesis writing, designing experiments and prediction. The results obtained from LPT data showed that students' observation and writing reaction skills developed over time and there was a high increase in their ability to make inferences about experimental procedures. There was also an increase in the full correct answers given to the test at the end of the inquiry-based process. Eventually, the students can better interpret the observations made with theoretic knowledge and experience they have gained during the experiments and therefore have some or all of the scientific truths related to the question.

**Keywords:** Analytical chemistry laboratory, Systematic qualitative analysis of cation, Inquiry-based approach, Science process skills.

## 1. Giriş

Bilgi çağı olarak adlandırılan çağımızda süre gelen çalışmaların felsefe, sosyoloji, bilim ve teknolojiye geleneksel perspektiflere dayanan ve meydan okuyan bir parçası vardır. Bu çalışmalar sayesinde bilimsel ve teknik bilgi ve bu bilgilere katkıda bulunan süreç ve kaynaklar artmaktadır. Günümüzde sürekli olarak artan bilgiye ulaşabilme, bilgiyi anlayabilme, yeni bilgi üretebilme ve yeniliklere ayak uydurabilme adına bireylerin bilim insanı gibi düşünebilmelerini sağlayan birtakım becerilere sahip olmaları gerekmektedir. Bu beceriler ancak eğitim yoluyla kazandırılabilir. Bu nedenle eğitim sisteminde yenilikçi, araştırmacı, sorgulayıcı ve problem çözümüne odaklı bir anlayış sürdürülmelidir (Crouch ve Mazur, 2001; Knight ve Wood, 2005; Smith, vd., 2009; Şen ve Erişen, 2002; Tien, Roth ve Kampmeier, 2002; Yamak, Bulut ve Dündar, 2014).

Etkisi giderek azalmakta olan, sadece bilgileri ezberlemeye dayalı sistem yerine bilgiyi kendileri üreten, işe dönük bilgileri seçebilen, analiz edebilen, öğrenme sürecini denetleyebilen bir sistemde yetişen bireyler ile günümüzün toplumsal ihtiyaçları karşılanabilir. Bu da araştırma ve sorgulamaya dayalı bir öğretimle mümkündür. Ülkemizde ve dünyada bilgi ve teknolojiye gelişmelere dayalı olarak yeniden düzenlenen Fen öğretim programlarındaki temel anlayış, bilgiyi araştırma ve sorgulamaya dayalı olarak edinebilmedir (Adey, Shayer ve Yates, 1995; Carin ve Bass, 2001; Galyam ve Grange, 2003; Gibson ve Chase, 2002; Gençtürk ve Türkmen, 2007; Kılıç, Haymana ve Bozyılmaz, 2008). Bu anlayışın temelinde yer alan "sorgulama" terimi, öğrencilerin bir bilim adamı gibi düşünerek hipotez üretme, test etme ve problem çözme sürecinden geçmesi anlamını taşımaktadır (Barrow, 2006; Gormally, Brickman, Hallar ve Armstrong, 2009).

Araştırma ve sorgulamaya dayalı öğrenme sürecinde öğrenciler bilim insanı gibi sorgulayarak, fenomenleri araştırarak, bilimsel araştırmalara aktif bir şekilde katılarak doğal olgu ve olayları öğrenirler (NRC, 2000). Bu tür öğrenme ortamlarında öğrencilere araştırma zenginliği sunulması öğrencilerin bilişsel yeterliliklerinin gelişimini desteklemektedir. Aynı zamanda öğrencilerin daha iyi deneyimler yaşaması motivasyonu ve öğrenmeyi artırır (Weaver, Russel ve Wink, 2008; White, 2002). Anderson (2002) araştırma ve sorgulamaya dayalı öğrenme ortamlarında öğrencilerin ezberleme ve talimatlara uyma davranışlarından uzaklaşarak bilgiyi keşfeden, yapılandıran ve geliştiren davranışlara ulaştıklarını belirtmiştir.

Bilimsel içerik ve kavram öğreniminin yanında araştırma ve sorgulama ortamlarında öğrencilerin edinmesi gereken yeterliliklerden biri de bilimsel süreç becerileridir (Windschitl, Thompson ve Breaten, 2008). Bilgiye ulaşmada öğrencilerin derse aktif katılımı bilimsel süreç becerilerinin önemini ortaya çıkarmaktadır. Bir anlamda bilimsel süreç becerileri bilginin üretilmesinde zihinsel ve fiziksel becerilerin birlikte kullanılmasını gerektirir. Bilimsel yöntemin temel alındığı, zihinsel ve teknik becerilerin geliştiği, gerçek anlamda bir araştırma ve sorgulama sürecinin yaşandığı en uygun öğrenme ortamları ise laboratuvarlardır (Hofstein, 2004; Mcconnaughay, Welsford ve Stabenau, 1999; Newton, Tracey ve Prudente, 2006). Aslında oldukça zengin yaşantılar sunabilecek bu laboratuvar ortamlarında ne yazık ki süregelen anlayış, verilen talimatları sınırlı bir süre içerisinde doğrulamaya yöntemi ile yerine getirmedir (Colburn, 2000). Bu anlayış sebebiyle öğrenciler doğru bir bilimsel süreçten geçememektedir. Sonuç olarak öğrenciler deneyler esnasında ne yaptıklarını anlamadan, düşünmeden sadece bir tarif uygulamaktadırlar. Bu süreçten geçen öğrencilerin en büyük eksikliği kendi deneylerini planlayamamak ve tasarlayamamaktır (Domin, 1999). Araştırma ve sorgulama anlayışına dayanan laboratuvarlarda öğrenciler bağımsız olarak kendi deneysel planlarını yürütür ve verilerini toplar. Böylelikle



topladıkları deneysel veriler ve değişkenler ile kimyanın temel yasaları arasında ilişkiler kurarak öğrenirler (Wenning, 2011). Bu tür öğrenme ortamlarında bilimsel süreç becerilerinin arttığına dair araştırma sonuçları bulunmaktadır (Mumba, Chalabingua ve Hunter, 2007). Tamir, Stavy ve Ratner (1998) çalışmalarında laboratuvar ortamında araştırma ve sorgulamaya dayalı öğrenim ile öğrencilerin gözlem, tahmin yapma, hipotezleri test etme ve sonuçları ortaya çıkarma yeterliliklerinde artış olduğunu, deneysel yöntemi benimsediklerini, daha iyi yorumlama yapabildiklerini tespit etmişlerdir. Berg, Bergandahl ve Lundberg (2003)'e göre araştırma ve sorgulamaya dayalı öğrenme ortamları öğrencilerin derin düşünerek ve yansımalar yaparak teori ile uygulamayı ilişkilendirmelerini sağlamakta ve dolayısıyla bilimsel süreç becerilerini geliştirmektedir. Sorgulama sürecinde öğrenciler aktif öğrenenlerdir; araştırma yöntemini planlayarak, veri analizi yaparak ve sonuç çıkararak araştırma sorularını cevaplayabilirler (Bell, Smetana ve Binns, 2005). Böyle bir ortam söz konusu olmadığı durumlarda öğrencilerin bilimsel düşünme ve sorgulamaları engellenebilir ve bilimsel süreç becerilerini geliştiremeyebilirler.

Araştırma ve sorgulamaya dayalı Fen öğretiminde öğrenciler bilimsel süreç becerilerini geliştirerek öğrenme sürecini izler. Bu öğretimin etkin kullanıldığı laboratuvar ortamında öğrenciler deney yaparken bilimsel süreç becerileri yardımıyla sistematik bir problem çözme yolu kullanırlar (Hammann, Phan, Ehmer ve Grimm, 2008). Bu becerileri kullanarak öğretimi sürdüren öğrencilerin bilgiyi daha iyi özümsemeleri ve kalıcı öğrenmeler kazanmaları beklenmektedir. Bilimsel süreç becerileri bir problem çözme sürecinde bilgiyi oluşturma, problem üzerinde fikir üretme ve olası sonuçları ortaya çıkarma şeklinde birbirini izleyen adımlarda kullanılan düşünme becerileridir. Öğrencilere bu becerilerin kazandırılması onların ileride karşılaştıkları olası problemlere karşı daha kolay bir şekilde çözüm üretebilmelerini sağlayacak ve böylelikle öğrenciler bilimsel bir çalışma sürecinin bilincinde problem çözümüne odaklı bir şekilde anlamlı öğrenmeyi gerçekleştireceklerdir (Çepni ve Çil, 2009).

Bilimsel süreç becerileri ile ilgili alanyazın incelendiğinde bu becerilerin farklı şekilde sınıflandırıldığı görülmektedir. Daha çok karşılaşılan sınıflandırmalar dikkate alındığında bilimsel süreç becerileri temel ve bütünleştirici (birleştirilmiş) olmak üzere iki (Rezba vd., 1995; Ramig, Bailer ve Ramsey, 1995; A.A.A.S. 1998 akt. Kanlı ve Yağbasan, 2008); temel, nedensel ve deneysel beceriler olmak üzere üç (Çepni, Ayas, Johnson ve Turgut, 1997) başlık altında toplanmaktadır. Temel beceriler, nedensel ve deneysel becerilere bir adım oluşturan gözlem, ölçme, sınıflandırma yapma, verileri kaydetme, sayı ve uzay ilişkileri kurma şeklindedir. Temel becerilerin ilköğretim düzeyinden itibaren öğrencilere kazandırılması öğrencilerin nedensel ve deneysel becerilerini geliştirmelerinde öncülük etmektedir. Nedensel beceriler önceden kestirme, değişkenleri belirleme, verileri yorumlama, sonuç çıkarma becerilerini; deneysel beceriler de hipotez kurma, verileri kullanma ve model oluşturma, deney yapma, değişkenleri değiştirme ve kontrol etme, karar verme becerilerini içermektedir. Bu becerileri öğrencilere kazandıracak öğrenme ortamlarının sayısının artırılması öğrenmenin kalıcılığı açısından önemli ve gereklidir. Konfüçyus'un da belirttiği gibi "Duyarsam unuturum, görürsem hatırlarım, yaparsam öğrenirim" sözü ile de ifade edilecek olursa öğrenme sürecindeki etkinlikler ne kadar duyu organına hitap ederse etkili bir öğrenme kuvvetli bir şekilde sağlanmış olacaktır. Bilimsel süreç becerilerini yeterli düzeyde aktif olarak kullanabilen öğrenciler araştırma ve sorgulama sürecinde tüm duyu organları yardımıyla kendi çabalarıyla etkili, kolay ve kalıcı öğrenmeye ulaşabilirler.

Herhangi bir konunun öğretiminde kullanılan sorgulama sürecinde üç farklı yaklaşım uygulanmaktadır. Bu yaklaşımlar öğretmen ve öğrencilerin rollerindeki değişimlere göre yapılandırılmış, rehberli ve açık sorgulama olarak adlandırılmaktadır (Martin-Hansen, 2002; NRC, 2000; Sadeh ve Zion, 2012). Bunlardan en çok tercih edilen ve uygulama kolaylığı sağlayan ise rehberli sorgulama yaklaşımıdır. Blanchard ve arkadaşları (2010), rehberli sorgulama laboratuvarı eğitimi ile doğrulama tipi laboratuvar eğitiminin, öğrencilerin içerik bilgisi, prosedür ve bilimin doğasına yönelik performansları üzerine etkisini karşılaştırmışlardır. Araştırma sonuçlarında rehberli sorgulamaya dayalı öğretim sürecinde yer alan ortaöğretim düzeyindeki öğrencilerin, kavramsal bilgi, prosedür bilgisi, bilimin doğası ve bilimsel araştırma açılarından doğrulama türü laboratuvar eğitime kıyasla daha iyi bir performans gösterdiklerini belirlemişlerdir.

Laboratuvar föyleri, kaynak kitaplar ve öğretmen rehberliğinde sadece deneysel talimatları izleme ve yerine getirme şeklinde yürütülen laboratuvar çalışmalarında öğrencilerin bilişsel, duyuşsal ve psikomotor becerilerini birlikte kullanarak bilimsel süreç becerilerini geliştirmeleri mümkün değildir. Bu şekilde yürütülen laboratuvar uygulamaları öğrencilerin alternatif çözüm yolları aramalarını engellemekte ve öğrenilen bilgilerin unutulmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple laboratuvar ortamında bilimsel süreç becerilerini geliştirmeye aracılık edecek sorgulama yaklaşımı kapsamında deneylerin gerçekleştirilmesi ve sorgulama temelli bazı öğrenme araçlarından faydalanılması gerekmektedir. Bu öğrenme araçlarından biri de I diyagramıdır. I diyagramı, bilimsel süreci adım adım ilerleten, anlamlı ve kalıcı öğrenmeye yardımcı olan, öğrencileri araştırma ve sorgulama yapmaya yönlendiren laboratuvarlarda faydalanılabilecek bir aktif öğrenme aracıdır (Phillips ve German, 2002; Tatar, Korkmaz ve Şaşmaz Ören, 2007, Akkuzu ve Uyulgan, 2017).

Son yıllarda yapılan araştırma ve sorgulamaya dayalı laboratuvar çalışmalarının öğrencilerin öğrenmelerini ve bilimsel süreç becerilerini olumlu etkilediği göz önünde bulundurularak bu tür laboratuvar çalışmalarının yaygınlaştırılması önem kazanmıştır. Buradan hareketle araştırmanın amacı, I diyagramı aracı kullanılarak gerçekleştirilen sorgulama temelli sistematik kalitatif katyon analizi deneylerinde öğrencilerin bilimsel süreç becerilerinin gelişimini incelemektir. Bu amaçla aşağıdaki araştırma sorularına cevap aranmıştır:

- Sistematik kalitatif katyon analizi deneylerinde öğrencilerin I diyagramı bölümlerinden aldıkları puanlar nasıl değişmektedir?
- Öğrencilerin Laboratuvar Yeterlilikleri Testi'nden aldıkları puanlara göre bilimsel süreç becerileri nasıl değişmektedir?
- Öğrencilerin Laboratuvar Yeterlilikleri Testi'ne verdikleri yanıtlar doğruluk seviyelerine göre nasıl değişmektedir?

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Yöntem

Bu araştırma nitel araştırma yöntem ve teknikleri kullanılarak yapılandırılmıştır. Nitel araştırma, sosyal yaşamı ve insanla ilgili problemleri kendine özgü yöntemlerle sorgulamaya dayanan bir anlamlandırma sürecidir (Creswell, 1998). Araştırmada, nitel araştırma yöntemleri kapsamında özel durum çalışması kullanılmıştır. Durum çalışmalarının odak noktası, tek bir bağlam içerisinde kurulan dinamikler veya süreçlerdir (Huberman ve Miles, 2002). Bir durum çalışması, verilen bir ya da birden fazla duruma odaklanarak bir sosyal oluşum veya sürecin anlaşılmasına çalışıldığı nitel araştırma yöntemidir (Richards ve Morse, 2013:73). Durum çalışması belirli bir durumu aydınlatmak, değerlendirmeler yapmak ve gözlemlenen olaylar arasında olası ilişkileri ayrıntılı bir şekilde ortaya çıkarmak için kullanılan keşfedici bir araştırma türüdür (McMillan, 2000; Patton, 2002:46). Ayrıca gerçek bir yaşam bağlamı içerisinde güncel bir olguyu araştırır (Yin, 2003). Bu bağlamda araştırmada incelenen durum, rehberli sorgulamaya dayalı öğrenme yaklaşımının uygulandığı bir süreçte kullanılan I diyagramı aracı ile üniversite düzeyindeki öğrencilerin Analitik kimya laboratuvarı deneylerindeki bilimsel süreç becerilerinin gelişimini izlemektir. Bu araştırmada tek bir analiz birimi olarak bir öğrenci grubu üzerine odaklanıldığı için bütüncül tek durum deseninden yararlanılmıştır.

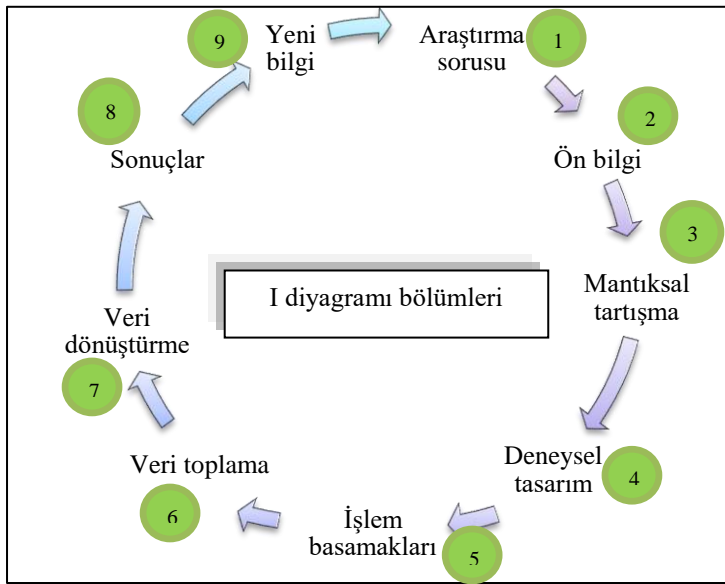
### 2.1.1. Katılımcılar

Nitel araştırma tasarımlarının dayandığı temel fikir, araştırmacının problem ve araştırma sorularını anlamasına en iyi yardım edecek katılımcıların amaçlı bir şekilde seçilmesidir (Creswell, 2003:185). Amaçlı örneklemenin varsayımlarından biri araştırmacının keşfetmek, kavramak, iç görü kazanmak istediği bir örneklemin seçiminin zorunlu olmasıdır (Merriam, 2013). Buradan hareketle araştırmada, örneklem seçiminde ölçüt örnekleme yöntemi kullanılmıştır. Ölçüt örnekleme yöntemine göre önceden belirlenmiş bir dizi ölçütü kapsayan durumlar çalışılır (Patton, 2014: 238). Bu araştırmadaki ölçütler öğrencilerin Eğitim Fakültesi Kimya Öğretmenliği Programında öğrenim görmeleri, dönem içinde Analitik Kimya Laboratuvarı-I dersini almaları ve araştırmada rehberli sorgulamaya dayalı yaklaşımın kullanıldığı herhangi bir uygulamayla daha önce karşılaşmamış olmalarıdır. Bu araştırmanın örneklemini bir devlet üniversitesinin Eğitim Fakültesi Kimya Öğretmenliği Programında öğrenim gören ve Analitik Kimya Laboratuvarı-I dersini alan toplam 31 öğrenci oluşturmaktadır. Öğrencilerin 45,16'sı % (N=14) kız ve 54,84'ü % (N=17) erkek öğrencilerden oluşmaktadır. Araştırma öncesi katılımcıların çalışmaya gönüllü olup olmadıklarına dair sözlü onay alınmış ve öğrencilerin çalışmadan her an kendi rızalarıyla çıkabileceklerine dair bilgi verilmiştir.

### 2.1.2. Veri Toplama Araçları

#### 2.1.2.1. I Diyagramı Aracı

Bu araştırmada öğrencilerin bilimsel süreç becerilerini tespit etmek amacıyla I diyagramı aracından faydalanılmıştır (Ek 1). I diyagramı Gowin'in Vee diyagramından esinlenen ve Lawson'un eğer..... ve eğer..... sonra kalıbına dayalı olarak Phillips ve Germann (2002) tarafından ortaya atılan eğitsel araçlardan biridir. Bu araca I diyagramı denmesinin nedeni bölümlerin yer aldığı orta kısmın şeklinin "I" harfine benzerliğidir. I diyagramı aracı aşama aşama ilerleyen toplam dokuz bölümden oluşmaktadır. I diyagramı deneye ilgili bir araştırma sorusuyla başlar; mantıksal tartışma, deneysel tasarım, deneyin işlem basamakları, veri toplama, veri dönüşümü, sonuçlar, yeni bilgi ve araştırma sorusu. I diyagramı öğrenmede sorgulamanın kaçınılmaz olduğu döngüsel bir süreci kapsamaktadır. Şekil 1, I diyagramı aşamalarını ve her bir aşamada öğrencilerin yapması gerekenlere dair açıklamaları özet şeklinde göstermektedir.



Öğrencilerin I diyagramı sürecinde deneyimledikleri 9 bölümün öğrenme döngüsü aşamalarının açıklamaları:

1. Araştırmaya uygun bir soru üretir.
2. Sorusuna cevap oluşturabilecek ilgili ön bilgileri toplar ve kavramları oluşturur.
3. Araştırma sorusuna uygun bir hipotez türetir.
4. Deneyindeki değişkenleri belirler ve deneyini tasarlar.
5. Deneysel işlem basamaklarını oluşturur ve uygular.
6. Elde edilen verileri toplar ve tablo şeklinde düzenler.
7. Verileri grafiklere dönüştürür ve reaksiyon gösterimi şeklinde sunar.
8. Verilerden anlamlı bir sonuç çıkarır. Sonucunu kanıtlarla destekler.
9. Bulduğu sonucu arkadaşları ile paylaşır ve yeni bilgi türetir.

Şekil 1: I Diyagramı Bölümlerinin Öğrenme Döngüsü Aşamaları ve Açıklamaları

Ek1 'de verilen I diyagramının ön sayfası incelendiğinde diyagram ilk olarak deneye ait bir araştırma sorusu ile başlamaktadır. Bir sonraki aşama ise deneye ilgili ön bilginin ve kavramların yazıldığı bölümdür. Öğrenciler bu bölümü katyon gruplarının özelliklerini, reaktiflerini ve reaksiyonlarını tanıdıkları ön deneme aşaması aracılığıyla yazarlar. Katyon grubuyla ilgili ön bilgi ve kavramların

yazılmasından sonra mantıksal tartışma bölümü başlar. Bu bölümde öğrenciler araştırma sorusuna bağlı olarak hipotezlerini yazar; buna göre hazırlanan deney malzemelerini düşünerek deneyi tasarlarlar ve deney sonucuna göre tahmin yürütürler. Hipotez ve öngörüğü bu şekilde yazmak, öğrencilere bilimsel araştırmanın mantıksal düşünceye dayanan titiz bir süreç olduğunu vurgular. Ayrıca bu bölümde öğrencilerden deneysel tasarıma dayalı olarak deney değişkenlerinin neler olduğunu yazmaları istenir. Öğrencilerin değişkenleri yazabilmeleri büyük ölçüde deneyin işlem basamaklarını yazmayı kolaylaştırır. İşlem basamaklarını yazma bölümünde öğrenciler analizlerini yapar; örneğin verilen örnek numunelere reaktiflerini ekler, değişimleri izler ve ürün olarak çökelek ya da kompleks oluşumunu gözlemler. Bir sonraki bölüm işlem basamaklarında elde edilen verileri toplamadır. Burada, öğrenciler verilerini tablolar halinde yazarlar. Veri dönüşümü bölümü ise tablodaki verilerin girenler ve ürünler şeklinde yazılarak reaksiyonlara dönüştürme aşamasıdır. Bir sonraki adım olan sonuçlar bölümünde öğrencilerin o gruba ait sistematik katyon analizi ile ilgili nasıl bir sonuca vardıkları sorgulanır. Burada öğrencilerden numunelerinde buldukları katyonların neler olduğu kanıtlarıyla ve bilgi iddialarını ortaya koyarak sunmaları istenir. Dolayısıyla öğrenciler kanıtlarını bilgi iddiası şeklinde sunarlar. I diyagramının son bölümünde katyon analizi sonuçlarından yeni bilgiye ve yeni araştırma sorusu ya da sorularına ulaşmaları sağlanır. Öğrenciler I diyagramında yer alan bu bölümleri deneyler sırasında aşama aşama takip ederken hem bilimsel süreç becerilerini kullanırlar hem de sorgulama sürecinde aktif olarak yer alırlar.

### 2.1.2.2. Laboratuvar Yeterlilikleri Testi (LYT)

Araştırmanın bir diğer veri toplama aracı Laboratuvar Yeterlilikleri Testidir. Testin kullanılma amacı I diyagramından elde edilen bilimsel süreç becerilerindeki gelişimi daha net ortaya koymaktır. Bu doğrultuda Analitik Kimya laboratuvarı dersinde öğrencilerin bilimsel süreç becerilerinin ne seviyede değiştiğini belirlemek için LYT kullanılmıştır. Bu test 10 adet açık uçlu sorudan oluşmaktadır. Bu testte laboratuvar yeterlilikleri olarak bilimsel süreç becerilerine odaklanılmıştır (Uyulgan, 2012). Her bir soru farklı bilimsel süreç becerilerini ölçmektedir. Testte yer alan sorular gözlem yapma, ölçme, sınıflama, veri kaydetme gibi temel bilimsel süreç becerilerini, deney tasarlama, değişkenleri belirleme, hipotez kurma, verileri kullanma, çıkarım yapma ve sonuç çıkarma gibi nedensel ve deneysel süreç becerilerini ölçmektedir. Tablo 1'de her bir sorunun ölçtüğü bilimsel süreç becerisi sırasıyla verilmiştir.

Tablo 1. Laboratuvar Yeterlilikleri Testinde Yer Alan Her Bir Sorunun Ölçtüğü Bilimsel Süreç Becerileri

Soru No	BSB	Soru No	BSB
1A	Gözlem yapma	6	Tahminde bulunma
1B	Reaksiyon yazma	7	Veri kaydetme - Hipotez kurma
2A	Laboratuvar malzemelerini isimlendirme	8	Değişkenleri belirleme, değiştirme ve kontrol etme
2B	Laboratuvar malzemelerini sınıflandırma	9	Deney tasarlama, deney araç gereçlerini tanıma
3A	Ölçme - Hacim okuma	10A	Çıkarım yapma – aktarma işlemi
3B	Ölçme - Hacim gösterme	10B	Çıkarım yapma – titrasyon işlemi
4	Veri işleme ve model oluşturma	10C	Çıkarım yapma – süzme işlemi
5	Yorumlama ve sonuç çıkarma		

### 2.1.3. Verilerin Analizi

#### 2.1.3.1. I diyagramı dokümanları analizi

Deneylerde öğrencilere sunulan I diyagramı dokümanları analitik puanlama anahtarı göz önünde bulundurularak puanlandırılmıştır. Analitik puanlama süreç değerlendirilmesinde yapılan ve çeşitli başlıklar altında bulunan performansların farklı puanlaması yapılarak gerçekleşen bir puanlama türüdür (Luft, 1999). Haladyna (1997), ölçülen bir beceri boyutu öğelere ayrıştırılabiliyorsa ve daha ayrıntılı bir şekilde puanlama yapılabiliyorsa analitik puanlamanın tercih edilmesini vurgulamaktadır. Bu doğrultuda I diyagramı bilimsel süreç becerilerinin farklı bölümlerini içerdiği ve araştırma süreci pek çok farklı katyon analizlerine ait oluşturulan I diyagramlarını kapsadığı için puanlamada analitik puanlama anahtarı dikkate alınmıştır. Buna göre I diyagramında yer alan her bir bölüm nedensel ve deneysel becerileri kapsayan üst düzey düşünme becerileri de göz önünde bulundurularak araştırmacılar tarafından puanlandırılmıştır. Toplam puan 100 puan olarak belirlenmiştir. Tablo 2, I diyagramında yer alan her bir bölümden alınabilecek maksimum puanları göstermektedir.

Tablo 2. I Diyagramında Yer Alan Her Bir Bölümden Alınabilecek Maksimum Puanlar

No	Bölümler	Alınabilecek max. Puan
1	Araştırma Sorusu	5
2	Ön Bilgiler	10
3	Mantıksal Tartışma	15
4	Deneysel Tasarım (Değişkenleri Belirleme)	5
5	İşlem Basamakları	5
6	Veri Toplama	10
7	Veri Dönüştürme	10
8	Sonuçlar	30
9	Yeni Bilgi	10
<b>Toplam</b>		<b>100</b>

I diyagramı dokümanlarına ait puanlamada güvenilirlik amacıyla iki araştırmacının puanlaması arasındaki tutarlılığa Pearson Momentler Çarpımı korelasyon katsayısı (r) hesaplanarak bakılmıştır. İstatistik hesaplamalara göre  $r = 0,98$  olarak bulunmuştur. Buradan yola çıkarak iki araştırmacı arasındaki tutarlılığının çok yüksek olduğu söylenebilir. Öğrencilerin I diyagramında yer alan her bir bölümde aldıkları puanlar SPSS 20.00 programında ortalama puan hesaplanarak grafikler halinde sunulmuştur.

### 2.1.3.2. Laboratuvar Yeterlilik Testinin Analizi

Teste verilen cevapların incelenmesinde Analitik Kriter Ölçeği kullanılmıştır. Bu ölçekte Ayas (1995) ve Marek (1986)'in puanlandırma kategorileri dikkate alınmış ve öğrencilerin teste verdikleri cevapların doğruluk seviyeleri bu kategorilere dayalı olarak puanlandırılmıştır. Tablo 3, LYT'de yer alan soruların analizinde kullanılan kategori, puan ve açıklamaları göstermektedir.

Tablo 3. LYT'de Yer Alan Soruların Analizinde Kullanılan Kategori, Puan ve Açıklamalar

Kategori	Kod	Puan	Açıklama
Tam doğru	TD	2	Soru ile ilgili bilimsel fikirlerin bir kısmını veya hepsini içeren cevaplar
Kısmen doğru	KD	1	Soru ile ilgili olarak kabul edilebilir düzeyde olan ancak; soruya tam olarak cevap teşkil etmeyen öğrenci ifadelerini içeren cevaplar
Yanlış	Y	0	İlişkisiz, mantıksız ya da yanlış bilgi içeren cevaplar
Boş (Cevapsız)	B	0	Soruyu tamamıyla boş bırakanlar, bilmiyorum, anlamadım ya da soruyu aynen tekrar eden cevaplar

Puanlandırma dikkate alındığında testten alınabilecek maksimum puan 30, minimum puan ise 0'dır. Öğrencilerin aldıkları puanlar 100 üzerinden değerlendirilerek bulgulara yansıtılmıştır. Testten elde edilen verilerin güvenilirliği kodlayıcı güvenilirliği ile belirlenmiştir. İki kodlayıcı arasındaki uyum yüzdesi %96 olarak bulunmuştur. Örnek bir sorunun puanlama kriteri Ek 2'de sunulmaktadır.

### 2.1.4. Uygulama Süreci

Araştırma Analitik Kimya Laboratuvarı-I dersinde bir dönem boyunca gerçekleştirilmiştir. Bu dersin ana amacı sistematik katyon analizleri hakkında bilgi ve beceriye sahip olmaktır. Ders kapsamında öğrenciler katyon analizi yöntemlerini, katyonların özelliklerini ve çeşitli reaksiyonlarını öğrenirler. Uygulama ders kapsamında yer alan 5 grup katyon analizi deneylerinin I diyagramı dokümanları aracılığıyla gerçekleştirilmesine dayanmaktadır. Uygulama sürecinde ilk hafta öğrencilere I diyagramı aracı ve içinde yer alan bölümleri hakkında bilgi verildi. Ardından deneylere başlamadan önce öğrencilere LYT uygulandı. İkinci hafta deneyler için gerekli olan çözeltiler ve cam malzemeler hazırlandı. Uygulama, katyonların ön deneme aşaması ve analiz aşaması olmak üzere 8 hafta boyunca ard arda iki basamakta gerçekleştirildi. Ön deneme aşamasında öğrenciler öncelikle analizini yapacağı katyon grubunun özelliklerini, reaktiflerini ve reaksiyonlarını tanımaya çalışarak ön bilgiye sahip oldular. Bir sonraki hafta ise A3 boyutu formatında hazırlanan I diyagramı dokümanları öğrencilere sunuldu ve öğrenciler sistematik katyon analizini gerçekleştirdiler. Uygulamada gerekli yerlerde araştırmacılar tarafından öğrencilere yöneltilen sorular ve rehberlik eşliğinde araştırma ve sorgulamaya dayalı öğrenme ortamı oluşturulmuştur. Uygulama sırasında öğrencilerin birbirleri arasında fikirlerini tartışmaları ve etkileşime girmeleri sağlanmıştır. Tüm bu süreç çerçevesinde öğrenciler sistematik kalitatif katyon analizi ile ilgili problemin farkında olmuşlar, ön bilgilerini test etmişler, hipotez yazarak, tahmin yürüterek deney tasarlamışlar, analizlerindeki değişkenleri belirlemişler, verilerini toplamışlar, bu verileri reaksiyon üzerinde gösterebilmişler ve analiz sonuçlarından kararlara ulaşarak bilgi iddiası ortaya koyabilmişlerdir. Böylelikle I diyagramı aracılığıyla adım adım ilerleyerek bilimsel düşünme süreçlerinden geçmişler ve temel, nedensel ve deneysel becerileri kullanmışlardır. Tablo 4, öğrencilerin uygulamada yer alan ve analizlerini yaptıkları katyon gruplarını, aşamalarını ve uygulama sürecini göstermektedir. Toplamda 10 hafta sonunda öğrencilere laboratuvar yeterlilik testi ikinci kez verilerek uygulama süreci tamamlanmıştır.

Tablo 4. Katyon Gruplarının Aşamaları ve Uygulama Süreci

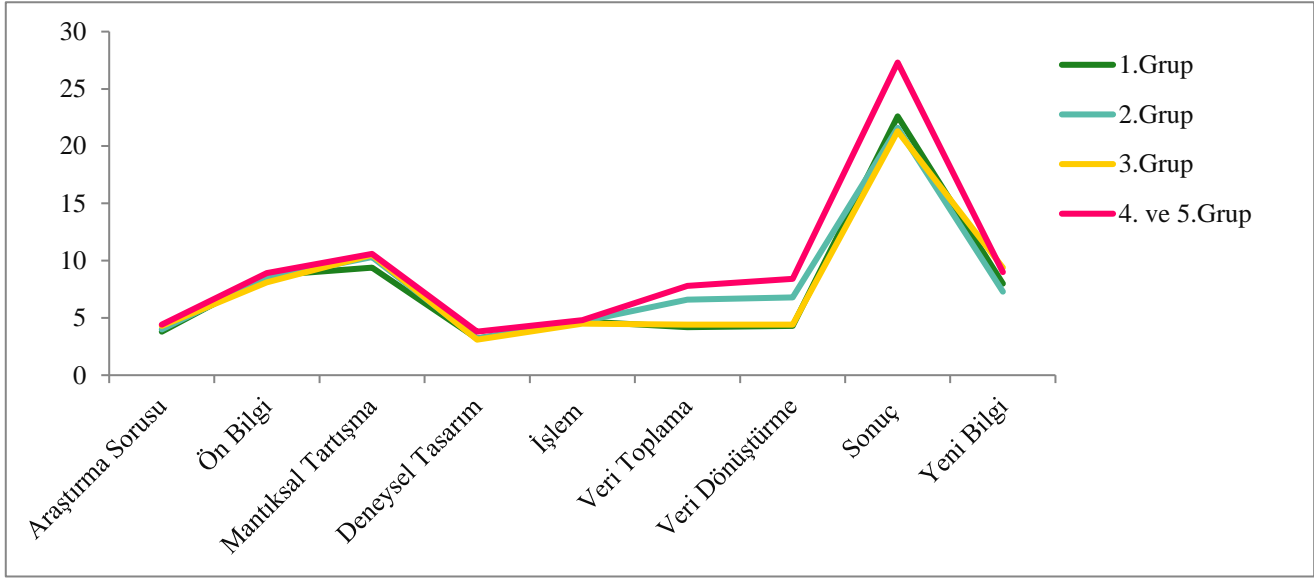
Hafta	Katyon grupları	Aşama	Uygulama süreci
1	I. grup ( $Ag^+$ ve $Pb^{2+}$ )	Ön deneme	I.grup katyonların özelliklerini, reaktiflerini ve reaksiyonlarını tanımak
2		Analiz	I diyagramı dokümanları eşliğinde I.grup katyonları tespit etmek
3	II. grup ( $Cu^{2+}$ ve $Cd^{2+}$ )	Ön deneme	II.grup katyonların özelliklerini, reaktiflerini ve reaksiyonlarını tanımak
4		Analiz	I diyagramı dokümanları eşliğinde II.grup katyonları tespit etmek
5	III. grup ( $Fe^{3+}$ , $Al^{3+}$ , $Mn^{2+}$ , $Cr^{3+}$ , $Zn^{2+}$ , $Co^{2+}$ ve $Ni^{2+}$ )	Ön deneme	III.grup katyonların özelliklerini, reaktiflerini ve reaksiyonlarını tanımak
6		Analiz	I diyagramı dokümanları eşliğinde III.grup katyonları tespit etmek
7	IV. ve V. grup ( $Ca^{2+}$ , $Sr^{2+}$ , $Ba^{2+}$ , $Mg^{2+}$ , $Na^+$ ve $NH_4^+$ )	Ön deneme	IV. ve V.grup katyonların özelliklerini, reaktiflerini ve reaksiyonlarını tanımak
8		Analiz	I diyagramı dokümanları eşliğinde IV. ve V.grup katyonları tespit etmek

### 3. Bulgular

Bu bölümde araştırmanın alt problemlerine cevap bulmak için öncelikle sistematik katyon analizi deneylerine aktif olarak katılım gösteren öğrencilerin I diyagramı dokümanında yer alan bölümlerden aldıkları puanların ortaya koyduğu gelişim durumlarına ait toplanan veriler, elde edilen bulgular ve yorumlar aktarılmaktadır. Araştırmanın alt problemini takiben öğrencilerin araştırma öncesi ve sonrası LYT'den aldıkları puanlara ilişkin bulgular ve bulgulara ilişkin yorumlar sırasıyla sunulmaktadır.

#### 3.1. Öğrencilerin I Diyagramı Uygulamalarından Aldıkları Puanlara İlişkin Bulgular

Araştırmada ilk olarak öğrencilerin bilimsel süreç becerilerinin gelişimini ortaya koyan sistematik katyon analizleri deneylerindeki I diyagramı bölümlerinden alınan puanlar nasıl değişmektedir, sorusuna yönelik bulgular elde edilmiştir. Şekil 2, öğrencilerin her bir katyon grubundaki I diyagramı bölümlerinden aldıkları ortalama puanları göstermektedir. Buna göre sırasıyla gerçekleştirilen katyon analizi deneylerinde süreç boyunca her bir bölümde artışın olduğu gözlenmektedir.



Şekil 2: I Diyagramı Bölümlerinden Alınan Puanların Deneylere göre Dağılım Grafiği

Bilimsel süreç becerilerinin gelişiminin izlendiği grafiğe ilaveten Tablo 5 öğrencilerin deneylere göre I diyagramı bölümlerinden aldıkları puanları ve puan artışlarını daha açık bir şekilde göstermektedir. Buna göre daha çok mantıksal tartışma, deneysel tasarım, veri toplama, veri dönüştürme ve sonuçlar bölümlerinde ilerlemeler olduğu tespit edilmiştir. Hipotez yazma, deney tasarlama ve tahmin yürütmenin birlikte olduğu mantıksal tartışma bölümündeki bu artışla birlikte öğrencilerde nedensel ve deneysel becerilerin geliştiği söylenebilir. Benzer bir şekilde deney değişkenlerinin belirlendiği deneysel tasarım bölümünde de dikkate değer bir ilerleme söz konusudur. Bu durum da öğrencilerin nedensel becerilerinin geliştiğine bir işarettir. Öğrencilerin veri toplama bölümünde deneyler sırasında elde ettikleri verileri kaydetmeleri ve veriler arasındaki ilişkileri kurarak tablolar haline getirmelerini kapsayan temel becerilerde de ilerleme olduğu saptanmıştır. Ayrıca sistematik katyon analizleri sırasında oluşturulan reaktif ve ürün tablolarından çökelme ve kompleksleşme reaksiyonlarının yazıldığı veri dönüştürme bölümünde zamanla yüksek puanlar aldıkları tespit edilmiştir. Bu bulgu da öğrencilerin deneysel becerilerinin geliştiğini göstermektedir. Verilerden yola çıkarak karar verme, kanıt sunma ve iddianın ortaya konulduğu sonuçlar bölümünde de bir artış söz konusudur. Dolayısıyla bu bölümün nedensel ve deneysel becerilere katkısı da yüksektir. I diyagramı bölümlerinden alınan puanlar genel olarak incelendiğinde zamanla öğrencilerin bilimsel süreç becerilerinde pozitif yönde bir değişim ve gelişimin olduğu tespit edilmiştir. Bu yorumu desteklemek ve gelişimi daha açık bir şekilde görmek amacıyla öğrencilerin bilimsel süreç becerileriyle ilgili laboratuvar yeterlilikleri testinden aldıkları puanlara ve bu teste verdikleri yanıtların doğruluk seviyelerinin değişimine de göz atmakta fayda vardır.

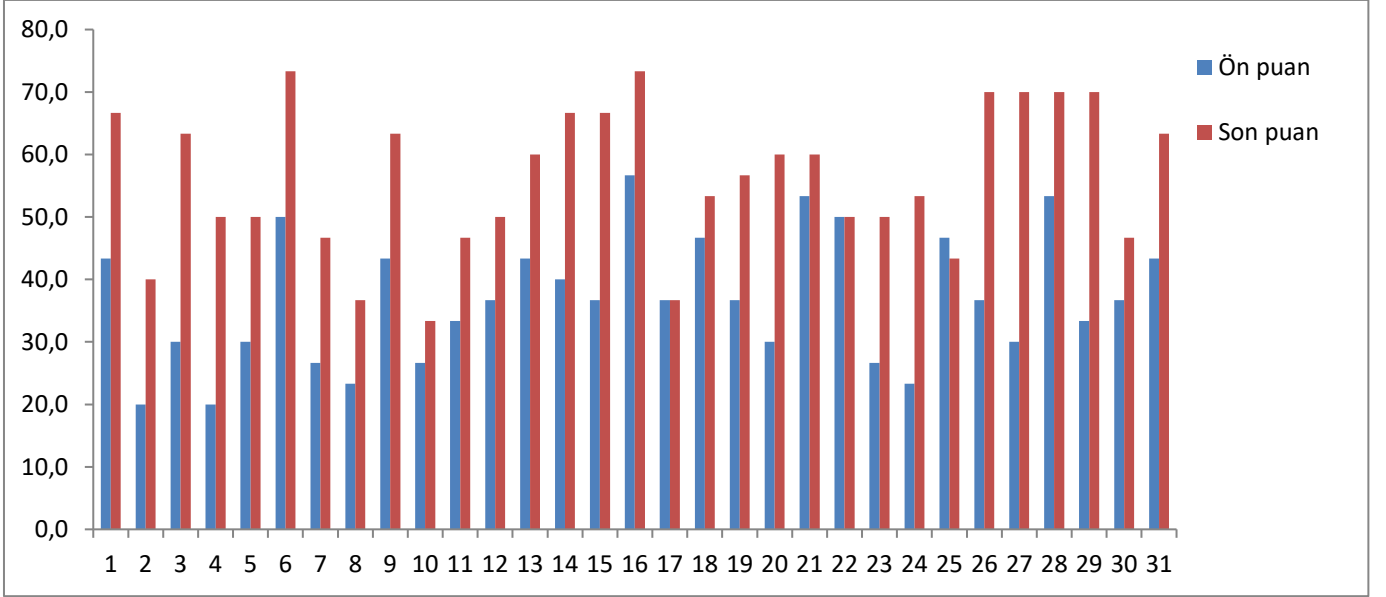
Tablo 5. Deneylere göre I Diyagramı Bölümlerinden Alınan Puanlar

Katyon grubu	Araştırma Sorusu	Ön Bilgi	Mantıksal Tartışma	Deneysel Tasarım	İşlem	Veri Toplama	Veri Dönüştürme	Sonuç	Yeni Bilgi	Toplam puan
1. Grup	3,8	8,7	9,4	3,2	4,7	4,2	4,3	22,6	8	68,9
2. Grup	4,0	8,5	10,3	3,2	4,7	6,6	6,8	21,6	7,3	73
3. Grup	4,3	8,1	10,5	3,1	4,5	4,4	4,4	21,3	9,4	70
4-5. Grup	4,4	8,9	10,6	3,8	4,8	7,8	8,4	27,3	9	85



### 3.2. Öğrencilerin LYT'den Aldıkları Ön ve Son Uygulama Toplam Puanlarına ilişkin Bulgular

Araştırmanın ikinci ve üçüncü alt problemleri öğrencilerin Laboratuvar Yeterlilikleri Testi'nden aldıkları puanlara ve bu teste verdikleri yanıtların doğruluk seviyelerine göre bilimsel süreç becerilerinin değişimlerinin nasıl olduğudur. Şekil 3, öğrencilerin LYT'den aldıkları puanları göstermektedir. Buna göre öğrencilerin uygulama öncesi aldıkları minimum puan 20 iken, maksimum 58'dir. Uygulama sonrası öğrencilerin aldıkları minimum puan 34, maksimum puan ise 73'tür. Bu sonuçlardan öğrencilerin araştırma sürecinde bilimsel süreç becerilerini zamanla geliştirdikleri ifade edilebilir.



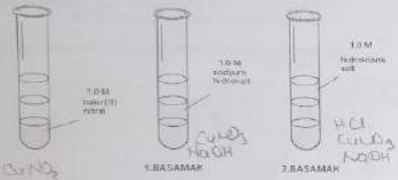
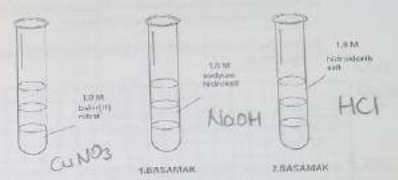
Şekil 3: Öğrencilerin LYT'den Aldıkları Puanlara ilişkin Sütun Grafiği

LYT'den alınan puanların sorulara göre dağılımı incelendiğinde en fazla artışın 1A, 1B, 10B ve 10C sorularında olduğu görülmektedir (Tablo 6). 1. soru kalitatif analizlerde çökelme ve çözünme reaksiyonlarıyla ilişkili bir sorudur. Bu sorunun A basamağı temel becerilerden gözlem yapma becerisi ile ilgilidir. B basamağı ise deneysel becerilerden verileri kullanarak gözledikleri reaksiyonu yazma becerisini yoklamaktadır. Tablo 6'daki analiz sonuçları incelendiğinde ön uygulamada öğrencilerin bu sorunun hem A hem de B basamaklarından aldıkları puan 0'dır. Elde edilen bu bulgu öğrencilerin gözlem ve reaksiyon yazma becerilerinde yetersiz olduklarını göstermektedir. Ancak sistematik katyon analizlerinin I diyagramı dokümanları aracılığıyla uygulanmasının ardından aynı testten alınan toplam puan artmıştır. Ortaya çıkan bu durum ayrıntılı incelenmek istendiğinde bu sorulardaki doğruluk seviyeleri sayıca oldukça artmış ve yanlış ya da boş bırakan kişi sayısı azalarak tam doğru ve kısmen doğru cevaplayanların oranı artmıştır (Tablo 7).

Tablo 6. Uygulamalar Sonucunda LYT'den Alınan Puanların Sorulara göre Dağılım Tablosu

Soru no	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4	5	6	7	8	9	10A	10B	10C
Ön uygulama	0	0	31	23	22	40	8	38	40	31	14	13	32	17	27
Son Uygulama	28	23	33	33	25	52	17	43	52	40	25	22	45	42	47

Şekil 4 'te bir öğrencinin ilk ve son uygulamalarda 1.soruya vermiş olduğu yanıtlar yer almaktadır. Öğrenci ilk uygulamada deneye ilişkin gözlemlerini ve reaksiyonları yazamazken süreç sonunda testteki aynı soruya doğru cevap verebilmiştir. Şekil 4'teki örnekte de görüldüğü gibi öğrencilerdeki gözlem yapma ve reaksiyon yazma becerilerinin zaman içinde geliştiği söylenebilir. Benzer bir artış aktarma işlemiyle ilgili 10A, titrasyon işlemiyle ilgili 10B ve süzme işlemiyle ilgili 10C sorusunda da karşımıza çıkmaktadır. Bu soruda öğrencilerden bu işlemlerle ilgili çıkarımda bulunmaları istenmektedir. Bulgulara göre öğrencilerin çıkarım yapma becerilerinde oldukça yüksek bir artışa rastlanmaktadır. Özellikle ilk testte kısmen doğru cevaplayanların sayısı daha fazlayken I diyagramının kullanıldığı araştırma ve sorgulamaya dayalı süreç sonunda uygulanan aynı testteki bu sayı azalmış ve yerini tam doğru cevaplar almıştır. Bu durum öğrencilerin deneyler sırasında elde ettikleri bilgi ve tecrübeleri ile yapılan gözlemleri daha iyi yorumlayabildiklerini ve dolayısıyla soru ile ilgili bilimsel fikirlerin bir kısmına veya hepsine sahip olduklarını göstermektedir.

İlk uygulama yanıtı	Son uygulama yanıtı
<p>TEMEL KİMYA LABORATUVARI YETERLİLİKLERİ İLE İLGİLİ AÇIK UÇLU SORULAR</p> <p>1. Aşağıdaki deney tüplerinden 1 tüpte 1,0 M Bakır(II) nitrat bulunmaktadır. Bu tüpe ilk olarak eşit miktarda 1,0 M Sodyum hidroksit ekleniyor. Daha sonra aynı tüp içerisine yine eşit miktarda 1,0 M Hidroklorik asit ekleniyor.</p>  <p>Buna göre gözlemlerinizi neler olabilir?</p> <p>1. BASAMAK: <i>masi çökeltir</i> -</p> <p>2. BASAMAK:</p> <p>Bu tüplerde oluşacak reaksiyonlar neler olabilir?</p> <p>1. BASAMAK: <math>Cu(NO_3)_2 + NaOH \rightarrow Na_2CO_3</math> -</p> <p>2. BASAMAK: <math>NaOH + HCl \rightarrow NaCl + H_2O</math> -</p>	<p>TEMEL KİMYA LABORATUVARI YETERLİLİKLERİ İLE İLGİLİ AÇIK UÇLU SORULAR</p> <p>1. Aşağıdaki deney tüplerinden 1 tüpte 1,0 M Bakır(II) nitrat bulunmaktadır. Bu tüpe ilk olarak eşit miktarda 1,0 M Sodyum hidroksit ekleniyor. Daha sonra aynı tüp içerisine yine eşit miktarda 1,0 M Hidroklorik asit ekleniyor.</p> <p><i>TD</i></p>  <p>Buna göre gözlemlerinizi neler olabilir?</p> <p>1. BASAMAK: <i>Ortom bazik lezite ve Cu(OH)2 birleşimi oluşur</i></p> <p>2. BASAMAK: <i>Ortom asidik lezite ve CuCl2 oluşur</i></p> <p>Bu tüplerde oluşacak reaksiyonlar neler olabilir?</p> <p>1. BASAMAK: <math>Cu(NO_3)_2 + NaOH \rightarrow Cu(OH)_2 + NaNO_3</math></p> <p>2. BASAMAK: <math>Cu(NO_3)_2 + 2HCl \rightarrow CuCl_2 + 2HNO_3</math></p> <p>* <math>Cu(OH)_2 + 2HCl \rightarrow CuCl_2 + 2H_2O</math></p>

Şekil 4: 1.soruya ilişkin ilk ve son uygulama yanıtlarının değerlendirilmesine ait bir örnek

Artış gösteren bilimsel süreç becerilerinden bir diğeri de tahminde bulunmadır. Öğrencilere aspirinin çözünme sürelerine dair veriler bir tabloda sunulmuş ve bu verilerden yola çıkarak tahmin yürüterek 6. soruyu cevaplamaları istenmiştir. Bulgular son uygulamada tam doğru cevap veren öğrencilerin sayısının arttığını göstermektedir. Buradan öğrencilerin deneyle ilgili var olması beklenen sonuçlar ile tahminlerinin daha çok örtüştüğü ve önceden kestirme becerilerinde bir gelişim olduğu söylenebilir. Bunların akabinde değişkenleri belirleme, değiştirme ve kontrol etme becerileri de artış gösteren bilimsel süreç becerilerindedir. Nedensel ve deneysel becerilerin her ikisini kapsayan 8. soruya ait bulgular incelendiğinde öğrencilerin son uygulamada deneydeki değişkenleri ve hipotezi belirlemede daha yüksek puanlar aldıkları görülmektedir. Örnek olarak aynı öğrencinin ilk ve son uygulamalarda 8.soruya vermiş olduğu yanıtlar Şekil 5'te yer almaktadır.

İlk uygulama yanıtı	Son uygulama yanıtı
<p>8. Bir öğrenci boyutları aynı olan 4 tüp alır ve her birine 5'er mL saf su koyar. Tüplerdeki su sıcaklıklarını 0 °C, 25 °C, 40 °C, 60 °C'ye ayarlar. Daha sonra her bir tüpteki çözelti doymuş hale gelinceye kadar KNO<sub>3</sub> çözer.</p> <p><i>VD</i></p> <p>a. Bu deneyde sınanan hipotez nedir?</p> <p><i>Sıcaklığın KNO<sub>3</sub> çözünmesine etkisi.</i></p> <p>b. Deneydeki değişkenler nelerdir?</p> <p><i>Bağımlı Değişken: KNO<sub>3</sub> +</i></p> <p><i>Bağımsız Değişken: 5 ml saf su -</i></p> <p><i>Kontrol Değişkeni: Sıcaklık -</i></p> <p>c. Başka hangi değişkenlere bakılabilir?</p> <p>-----</p>	<p>8. Bir öğrenci boyutları aynı olan 4 tüp alır ve her birine 5'er mL saf su koyar. Tüplerdeki su sıcaklıklarını 0 °C, 25 °C, 40 °C, 60 °C'ye ayarlar. Daha sonra her bir tüpteki çözelti doymuş hale gelinceye kadar KNO<sub>3</sub> çözer.</p> <p><i>TD</i></p> <p>a. Bu deneyde sınanan hipotez nedir?</p> <p><i>Sıcaklık değişimine KNO<sub>3</sub> çözünürlüğüne etkisi.</i></p> <p>b. Deneydeki değişkenler nelerdir?</p> <p><i>Bağımlı Değişken: Çözünürlük (KNO<sub>3</sub>) +</i></p> <p><i>Bağımsız Değişken: Sıcaklık +</i></p> <p><i>Kontrol Değişkeni: boyutu aynı 4 tüp, saf su +</i></p> <p>c. Başka hangi değişkenlere bakılabilir?</p> <p><i>Süre +</i></p> <p>-----</p>

Şekil 5: 8. soruya ilişkin ilk ve son uygulama yanıtlarının değerlendirilmesine ait bir örnek

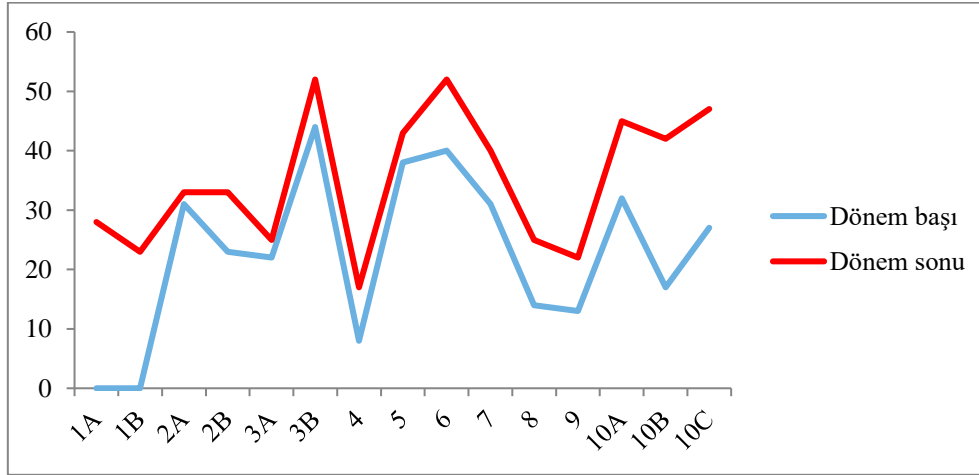
LYT'den elde edilen bulguları doğruluk seviyelerine göre ayrıntılı olarak incelediğimiz Tablo 7'de bu soruyla ilgili ilk testte tam doğru cevap sayısına rastlanmazken son testte 5 kişi hipotezi ve deneydeki tüm değişkenleri yazabilmişlerdir. Ayrıca yanlış yapan kişi sayısı da düşmüştür. Bu bulgular sonucunda öğrencilerin gelecekte karşılaşacakları bir deneye ait değişkenler hakkında fikir yürütebilecekleri ve hipotez kurabilecekleri söylenebilir. Buna ek olarak temel süreçlerden biri olan sınıflama becerisini ölçen 2B sorusunda da önemli bir puan artışı söz konusudur. Laboratuvar araç-gereçlerinin sınıflandırılmasına ilişkin bu soru araç-gereçleri benzerlik ve farklılıklarına göre ayırt etmeyi amaçlamaktadır. Öğrencilerin son uygulamadan aldıkları toplam puan benzerlik ve farklılıklarına göre malzemeleri sınıflandırabildiklerini göstermektedir. 2B sorusuyla ilgili olarak detaylı bir inceleme yaparsak öğrencilerin 8'i ilk testte yanlış sınıflandırma yaparken bu sayı son testte azalmıştır. Ayrıca tam doğru cevaplayanların sayısı da

artmıştır (Tablo 7). Buradan yola çıkarak öğrencilerin sınıflandırma becerilerinin geliştiği ve tümevarım ya da genelleme sürecinde aktif olarak yer aldıkları ifade edilebilir.

Tablo 7. Öğrencilerin Laboratuvar Yeterlilikleri Testi ile ilgili Sorulara Verdikleri Yanıtların Kategorik Dağılımı

Soru no	TD		KD		Y		B		Toplam puan	
	İlk	Son	İlk	Son	İlk	Son	İlk	Son	İlk	Son
1A	0	5	0	18	10	8	21	0	0	28
1B	0	4	0	15	10	7	21	5	0	23
2A	0	4	31	25	0	2	0	0	31	33
2B	4	10	15	13	8	4	4	4	23	33
3A	3	4	16	17	9	7	3	3	22	25
3B	11	22	18	8	2	1	0	0	40	52
4	0	2	8	13	20	10	3	6	8	17
5	7	14	24	15	0	1	0	1	38	43
6	10	21	20	10	0	0	1	0	40	52
7	7	14	17	12	5	1	2	2	31	40
8	0	5	14	15	13	8	4	3	14	25
9	0	4	13	14	15	10	3	3	13	22
10A	6	15	20	15	4	1	1	0	32	45
10B	3	13	11	16	6	1	11	1	17	42
10C	5	18	17	11	7	1	2	1	27	47

Bilimsel süreç becerileri açısından diğer sorulara ait bulgular incelendiğinde öğrencilerde 4. soru ile veri işleme ve model oluşturma, 9. soru ile deney tasarlama ve 7. soru ile veri kaydetme, hipotez kurma becerilerinin arttığı tespit edilmiştir. Temel becerilerden ölçme ve hacim gösterme becerisine ait 3B sorusunda da artış görünürken aynı beceriyi ölçen 3A sorusunda ise çok az bir ilerleme olmuştur. Ayrıca bu soruyla ilgili öğrencilerin LYT'ye verdikleri yanıtlar doğruluk seviyelerine göre ayrıntılı olarak incelendiğinde yanlış yapan ve boş bırakan öğrencilerin sayısı son testte pek fazla azalma göstermemiştir. Bu durumun nedeni öğrencilerin yaptıkları deneylerde nicel olarak bir ölçme ya da hesaplama olmamasından kaynaklanabilir. Çünkü deneyler kalitatif (nitel) katyon analizlerini içermektedir ve öğrenciler bu deneyde herhangi bir ölçme işlemi yapmamaktadır. Bulgulara ek olarak Şekil 6, LYT'den alınan puanların sorulara göre dağılım grafiğini göstermektedir. Grafikten de görüldüğü gibi sistematik katyon analizlerinin dönem boyunca rehberli sorgulamaya dayalı gerçekleştirilmesi öğrencilerin temel, nedensel ve deneysel becerilerinde gelişimi desteklemiştir.



Şekil 6: LYT'den Alınan Puanların Sorulara göre Dağılım Grafiği

#### 4. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Araştırmada öğrencilerin 10 haftalık bir rehberli sorgulama yaklaşımı çerçevesinde Analitik Kimya Laboratuvarı I dersindeki bilimsel süreç becerilerinin değişimi I diyagramları aracılığıyla incelenmiştir. Elde edilen bulgulardan I diyagramlarından alınan puanların katyon analizi deneylerinde giderek bir artış gösterdiği bulunmuştur. Özellikle öğrencilerin I diyagramı bölümlerinden mantıksal tartışma, deneysel tasarım, veri toplama, veri dönüştürme ve sonuçlarda süreç içerisinde gelişim gösterdikleri tespit edilmiştir. Deneyler sırasında I diyagramının bu bölümlerini dikkatlice ve sorgulama yaparak takip eden öğrencilerin bilimsel süreç becerilerinin de zaman içinde geliştiği söylenebilir. Çünkü öğrenciler araştırma boyunca bir probleme cevap bulmak için gözlem yapmışlar, analizi gerçekleştirmek için deney tasarlamışlar, analiz sonucu ile ilgili tahminde bulunmuşlar, analizdeki değişkenleri belirlemişler, oluşan reaksiyonları tahmin ederek veri toplamışlar ve elde ettikleri verilerden yola çıkarak karara varmaya çalışmışlardır. Öğrenciler bilinmeyen bir numune içerisinde deneylerine ilişkin katyon örneğini ararken bilimsel yöntemin aşamalarından tek tek geçerek bir bilim insanı gibi çalışma performansı göstermişlerdir. Yaşadıkları bu performanslar sürece alışma ve

deneylere adaptasyon ile birlikte bir takım beceriler açısından ilerlemelerini sağlamıştır. Öğrenciler her bir adımda yönlendirici sorular eşliğinde bir bilim insanı gibi düşünerek, hipotezler oluşturarak, deneysel işlemleri kendileri tasarlayarak, veri toplayarak, verileri analiz ederek ve hipotezlerini sınamak için deneylerini yürütmüşlerdir. Bu noktada I diyagramı bölümlerini takip ederken temel, nedensel ve deneysel süreç becerilerini kullanmışlardır. Dolayısıyla araştırma sonuçlarından rehberli sorgulama yaklaşımı ve I diyagramı aracı ile tasarlanmış bu laboratuvar sürecinin öğrencilerin bilimsel süreç becerilerini geliştirdiği söylenebilir. Hofstein ve Lunetta (2003) deneysel işlemlerin tasarımı uygulamaya süreç boyunca sorgulama yaklaşımı ile birlikte yürütülmesinin bilimsel süreç becerilerinin gelişimi açısından etkili olduğunu vurgulamaktadırlar. Araştırmamızda elde edilen sonuçlar bu yargıyı desteklemektedir. Buna göre öğrencilerin katyon analizi deneylerini baştan sona gerçekleştirirken I diyagramı bölümlerini sorgulama yaklaşımı çerçevesinde adım adım takip etmeleri bilimsel süreç becerilerinin gelişimine katkıda bulunmuştur. Karamustafaoğlu ve Celep Havuz (2016) çalışmalarında araştırma ve sorgulamaya dayalı yaklaşım kapsamında yürütülen laboratuvar uygulamalarının öğretmen adaylarının bilimsel araştırma sürecindeki becerilerini geliştirdiğini belirtmişlerdir. Supriyono ve Jauhariyah (2014) gerçekleştirdikleri yedi haftalık bir deneysel çalışma sonucunda fizik laboratuvarında üniversite öğrencilerinin bilimsel süreç becerilerinde benzer şekilde bir artış belirlemişlerdir.

Laboratuvar yeterlilikleri testinden alınan puanlar ve öğrencilerin bu teste verdikleri yanıtların doğruluk seviyeleri bilimsel süreç becerilerine ait gelişimi destekleyen diğer araştırma sonuçlarımızdır. Buna göre öğrencilerin süreç sonunda testten aldıkları puanlar ve verdikleri cevaplardaki doğruluk seviyeleri artmış, yanlış ya da boş cevap sayıları azalmıştır. Bu artışlardan bir kısmı temel becerilerden gözlem yapma ve sınıflama becerilerini içermektedir. Katyon analizleri süresince oluşan reaksiyonları gözlemlenmesi öğrenciler tarafından yapılan nitel bir gözlemlenmedir. Ayrıca öğrenciler sistematik katyon analizleri sırasında reaktifler ve oluşan çökelek ya da kompleks gibi ürünleri sınıflandırmaktadır. Bu doğrultuda gözlemler sonunda elde edilen verilerin gruplandırılmasının öğrencilerin sınıflama becerilerini geliştirdiği söylenebilir. Hammerman ve Musial (2007), sınıflandırma yapabilen öğrencilerin iyi bir gözlemlenme güçlerinin olduğunu, sınıflandırma ile birlikte öğrencilerin uygulamaları sorgulayarak yaptıklarını ve bu süreçlerde zihinlerini aktif olarak kullanabildiklerini belirtmişlerdir. Araştırmadan elde edilen sonuçlar incelendiğinde öğrencilerin verilerden hareketle çıkarımda bulunma ve tahmin yürütme beceri puanlarında artışların olduğu ortaya çıkmıştır. Bu artış I diyagramının mantıksal tartışma bölümünde çok belirgin olmasa da testte daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun nedeni çıkarımda bulunma ve tahmin yürütmenin deneyle ilgili oldukça kapsamlı ve yeterli ön bilgiye sahip olma şartıdır. Çünkü deneylerdeki bir olay ya da durumla ilgili bir değişiklik olduğunda öğrenci ön bilgilerini ve gözlemlerini kullanarak gelecekteki olası sonuçlar hakkında öngöründe bulunur (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation [UNESCO], 1992). Buradaki öngörü kişinin en iyi şekilde yaptığı ve gerçekliğini kanıtlayabildiği tahminler olup oldukça zor ve karmaşık bir süreci kapsamaktadır. Bu süreci başarıyla gerçekleştiren öğrenciler neden-sonuç ilişkisine kurma, problem çözme ve karar verme gibi üst düzey düşünme becerilerine sahiptir. Ayrıca çıkarımda bulunma ve tahmin yürütme öğrencilerin gözlenebilir olgu ve bu olgudaki düzenlilikler için türetilmiş açıklamalara yani teorilere daha kolaylıkla ulaşmalarını sağlar; bu becerilerin kullanılmadığı durumlarda ise bilimsel bilgiyi anlamlı bir şekilde öğrenmek zorlaşır (Aslan, Ertaş Kılıç ve Kılıç, 2016). Araştırmamızın bir bölümünde öğrencilerin tahmin yürütme becerilerini inceleyen Ramesh (2014), tahmin becerilerini başlangıç seviyesinden uzman seviyeye kadar belirli parametrelere ayırmış ve öğrencilerin tahminde bulunmalarını beklediği fen deneylerinde daha çok başlangıç seviyesinde olduklarını tespit etmiştir. Bu durumun sebebi olarak ise öğrencilerin olayla ilgili tahminleri olmasına rağmen tahminlere ilişkin nedenleri yazamamalarından kaynaklandığını belirtmiştir. Neden-sonuç ilişkisini oluşturamayan öğrencilerde nedensel ve deneysel becerilerin gelişimi oldukça zordur.

LYT ve I diyagramından elde edilen bulgulara gelişme gösteren diğer bilimsel süreç becerileri deneylerdeki değişkenleri belirleme, değiştirme, kontrol etme ve hipotez kurma becerileridir. Benzer bir sonuç Kanlı (2007)'nin laboratuvar yaklaşımı çerçevesinde uyguladığı deneysel çalışmada rastlanmaktadır. 7E modeli ile yürüttüğü çalışmada öğrencilerin laboratuvar deneyleri gerçekleştirirken bilimsel süreç becerilerinin nasıl değiştiğini incelemiş ve deneyler sonunda değişkenleri belirleme ve kontrol etme, hipotez kurma becerilerinde başarılı bir performans gösterdiklerini tespit etmiştir. Öğrenciler deney yaparken bilimsel düşünme yollarına başvururlar ve bu noktada sınıflandırma, verileri yorumlama, hipotez kurma ve değişkenleri belirleme gibi düşünme becerilerini kullanırlar (Rezba, Sprague, McDonnough ve Matkins, 2007). Araştırma boyunca I diyagramı aracılığıyla mantıksal tartışma bölümünde öğrenciler araştırma sorusuna çözüm bulmak amacıyla her bir katyon grubu analizi için hipotezler ve açıklamalar oluşturmuş, bu hipotezleri test etmiş ve deneylerinin işlem basamaklarını tasarlamışlardır. Bu süreçte öğrenciler karmaşık ve zor pek çok mantıksal düşünme yollarını denemişlerdir. Einstein, bu bağlamda bilimin (fenin) amacının deneyimleri düzenlemek ve onları mantıksal bir sisteme taşımak olduğunu ifade etmiştir (Akt. Renner, 1986). Germann, Aram ve Burke (1996) ise mantıksal düşünme çerçevesinde öğrencilerin deney tasarımlarını yazma becerilerini inceledikleri araştırmalarında fen deneylerini tasarlamadaki başarının hipotez kurma ve değişkenleri belirleme becerilerinin gelişiminden kaynaklandığı sonucuna varmışlardır. Bu bağlamda öğrenciler deneyleri yaparken deneye ait bilimsel bilgiyi anlamaları için I diyagramının bölümlerinde hem kavramsal boyutta açıklamalar hem de işlevsel olarak deneyin işlem basamaklarını yazmaya çalışmakta ve böylelikle temel, nedensel ve deneysel becerilerini geliştirmektedirler.

Deneylerden elde edilen verilerin öğrenciler tarafından nasıl yorumlandığı da araştırmanın önemli sonuçlarından biridir. Sorgulama temelli yürütülen sistematik kalitatif katyon analizleri sırasında öğrenciler elde ettikleri verileri tablolar halinde yazmışlardır. Reaktif ve ürünleri ayrı ayrı tabloya geçirmiş ve bu veri tablolarını kullanarak çökelme ve kompleksleşme reaksiyonlarını yazmışlardır. Süreç boyunca bu tür reaksiyonları yazabildikleri veri dönüştürme bölümünde öğrencilerin zamanla yüksek puanlar aldıkları tespit edilmiştir. Bu bulgu öğrencilerin verileri yorumlayabildiklerini, verileri kullanarak ürün oluşturabildiklerini göstermektedir. Aynı zamanda bu sonuç öğrencilerin deneysel becerilerinin geliştiğine bir işarettir. Lim (2001), sorgulama temelli laboratuvarlarda öğrencilerin daha çok bilgiyi toplama ve yorumlama sürecine odaklanmalarına, nihayetinde bu süreç derin bir akıl yürütme ile son bulduğunda ortaya bir ürün çıkarmaları gerektiğine vurgu yapmaktadır. Araştırmada verilerden yola çıkarak karar verme, kanıt sunma ve iddianın ortaya konulduğu sonuçlar bölümünde de bir ilerleme söz konusudur. NRC (2012),



bilimsel anlamayı yansıtan alternatif açıklamalar ışığında probleme çözüm bulmak için kendi değerlendirmelerini sunabilen öğrencilerin bilimsel süreç becerilerini geliştirebileceklerini belirtmektedir.

Araştırmada elde edilen tüm sonuçlar değerlendirildiğinde rehberli araştırma ve sorgulama temelinde yürütülen sistematik kalitatif katyon analizlerinde I diyagramı dokümanlarının öğrencilerin bilimsel süreç becerilerinin gelişimini yansıttığı söylenebilir. Bu gelişim alınan puanlar itibarıyla tüm beceriler açısından çok yüksek seviyelerde olmasa da ilerleme söz konusudur. Bilimsel süreç becerilerindeki bu gelişimin daha fazla olması amacıyla I diyagramı uygulamalarında izlenen yolun süreç içerisindeki zorluklarının neler olduğu bir sonraki çalışmalarda araştırılabilir. Ayrıca araştırmada ortaya çıkan sonuçların ışığında sistematik kalitatif katyon analizlerine daha çok kavramsal boyut göz önünde bulundurularak bakılabilir ve böylelikle teori ile uygulama arasındaki ilişki bu açıdan derinlemesine araştırılabilir. Son olarak düşünme yollarını geliştiren bilimsel süreç becerilerinin problem çözme ve eleştirel düşünme gibi üst düzey düşünme becerilerine katkısının ne düzeyde olduğu da farklı deney ortamlarında incelenebilir.

## Kaynakça

- Adey, P., Shayer, M. ve Yates, C. (1995). *Thinking science* (2nd ed.). Surrey, UK: Neson.
- Akkuzu, N. ve Uyulgan, M. A. (2017). Step by step learning using the I diagram in the systematic qualitative analyses of cations within a guided inquiry learning approach. *Chemistry Education Research and Practice*, 18(4), 641-658.
- Anderson, R. (2002). Inquiry as an organizing theme for science curricula. In S. K. Abell, ve N. G. Lederman, (Eds.) *Handbook of research of science education* (pp. 807-830). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Aslan, S., Ertaş Kılıç, H. ve Kılıç, D.(2016). *Bilimsel süreç becerileri*. Ankara: Pegem Akademi.
- Barrow, L. H. (2006). A brief history of inquiry: From Dewey to standards. *Journal of Science Teacher Education*, 17(3), 265-278.
- Bell, R. L., Smetana, L. ve Binns, I. (2005). Simplifying inquiry instruction. *The Science Teacher*, 72(7), 30-33.
- Berg, C. A. R., Bergendahl, V. C. B. ve Lundberg, B. K. S. (2003). Benefiting from an open-ended experiment? A comparison of attitudes to and outcomes of an expository versus an open-inquiry version of the same experiment. *International Journal of Science Education*, 25(3), 351-372.
- Blanchard, M. R., Southerland, S. A., Osborne, J. W., Sampson, V. D., Annetta, L. A. ve Granger, E. M. (2010). Is inquiry possible in light of accountability?: A quantitative comparison of the relative effectiveness of guided inquiry and verification laboratory instruction. *Science Education*, 94(4), 577-616.
- Carin, A. A. ve Bass, J. E. (2001). *Teaching science as inquiry* (9th ed.). New Jersey: Prentice Hall.
- Colburn, A. (2000). An inquiry primer. *Science Scope*, 23 (6), 42-44.
- Crouch, C. H. ve Mazur, E. (2001). Peer instruction: Ten years of experience and results. *American Journal of Physics*, 69(9), 970-977.
- Creswell, J.W. (1998). *Qualitative inquiry and research design choosing among five traditions*. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Creswell, J.W. (2003). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed method approaches* (2nd ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Çepni, S., Ayas, A., Johnson, D. ve Turgut, M. F. (1997). *Fizik öğretimi*. Ankara: Yükseköğretim Kurulu Milli Eğitim Geliştirme Projesi Hizmet Öncesi Öğretmen Eğitimi Yayınları.
- Çepni, S. ve Çil, E. (2009). *Fen ve teknoloji programı (Tanıma, planlama, uygulama ve SBS'yle ilişkilendirme): İlköğretim 1. ve 2. kademe öğretmen el kitabı*. Pegem Akademi: Ankara.
- Domin, S. D. (1999). A review of laboratory instruction styles. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 543-547.
- Galyam, N. ve Grange, L. (2003). Teaching thinking skills in science to learners with special needs. *International Journal of Special Education*, 18(2), 84-94.
- Gençtürk, H. A. ve Türkmen, L. (2007). İlköğretim 4. sınıf fen bilgisi dersinde sorgulama yöntemi ve etkinliği üzerine bir çalışma. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 27(1), 277 - 292.
- Germann, P.J. Aram, R. ve Burke, G. (1996). Identifying patterns and relationships among the responses of seventh-grade students to the science process skills of designing experiments. *Journal of Research in Science Teaching*, 33 (1), 79-99.
- Gibson, H. L. ve Chase, C. (2002). Longitudinal impact of an inquiry-based science program on middle school students' attitudes toward science. *Science Education*, 86(5), 693- 705. doi: 10.1002/sce.10039.
- Gormally, C., Brickman, P., Hallar, B. ve Armstrong, N. (2009). Effects of inquiry-based learning on students' science literacy skills and confidence. *International Journal for the Scholarship of Teaching and Learning*, 3(2), 1-22.
- Haladyna, T. M. (1997). *Writing test item to evaluate higher order thinking*. USA: Allyn & Bacon.
- Hamman, M., Phan, T. T. H., Ehmer, M. ve Grimm, T. (2008). Assessing pupils' skills in experimentation. *Journal of Biological Education*, 42(2), 66-72.
- Hammerman, E. ve Musial, D. (2007). *Integrating science with mathematics & literacy: New visions for learning and assessment*. Thousand Oaks, CA: Corwin Press.
- Hofstein, A. (2004). The laboratory in chemistry education: thirty years of experience with developments, implementation and evaluation. *Chemistry Education Research and Practice*, 5, 247-264.
- Hofstein, A. ve Lunetta, V. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88, 28-54.
- Huberman, M. ve Miles, M. B. (Eds.) (2002). *The qualitative researcher's companion*. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Kanlı, U. (2007). *7E modeli merkezli laboratuvar yaklaşımı ile doğrulama laboratuvar yaklaşımlarının öğrencilerin bilimsel süreç becerilerinin gelişimine ve kavramsal başarılarına etkisi*(Doktora Tezi).Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kanlı, U. ve Yağbasan, R. (2008). 7E merkezli laboratuvar yaklaşımının öğrencilerin bilimsel süreç becerilerini geliştirmedeki yeterliliği. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 28(1), 91-125.



- Karamustafaoğlu, S. ve Celep Havuz, A. (2016). Araştırma sorgulamaya dayalı öğrenme ve etkililiği. *International Journal of Assessment Tools in Education*, 3(1), 40-54.
- Kılıç, G. B., Haymana, F. ve Bozylmaz, B. (2008). İlköğretim fen ve teknoloji dersi öğretim programı'nın bilim okuryazarlığı ve bilimsel süreç becerileri açısından analizi. *Eğitim ve Bilim*, 33(150), 52-63.
- Knight, J. ve Wood, W. B. (2005). Teaching more by lecturing less. *Cell Biology Education*, 4(4), 298-310.
- Lim B. R. (2001). *Guidelines for designing inquiry-based learning on the web: online professional development of educators* (Unpublished doctoral dissertation). Indiana University, ABD.
- Luft, J.A.(1999). Rubrics: Design and use in science teacher education. *Journal of Science Teacher Education*, 10(2),107-121.
- Martin-Hansen, L. (2002). Defining inquiry: Exploring the many types of inquiry in the science classroom. *Science Teacher*, 69(2), 34-37.
- McConaughay, K., Welsford, I. ve Stabenau, E. (1999). Inquiry, investigation and integration in undergraduate science curriculum. *CUR Quarterly*, 20, 14-18.
- McMillan, J. H. (2000). *Educational research: Fundamentals for the consumer* (4th ed.). New York: Longman.
- Merriam, S.B. (2014). *Qualitative research: A guide to design and implementation* (3rd ed.).New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Mumba, F., Chalabengua, V. M. ve Hunter, W. (2007). Inquiry levels and skills in Zambian high school chemistry syllabus, textbooks and practical examinations. *Journal of Baltic Science Education*, 6(2), 50-57.
- National Research Council (NRC). (1996). *From analysis to action: Under-graduate education in science mathematics, engineering, and technology*. Washington, DC: National Academy Press.
- National Research Council (NRC). (2012). *A framework for K-12 science education: practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: National Academies Press.
- National Research Council (NRC) (2000). *Inquiry and the national science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- Newton, T. A., Tracey, H. J. ve Prudente, C. (2006). A research-based laboratory course in organic chemistry. *Journal of Chemical Education*, 83(12), 1844-1849.
- Patton, M.Q. (2002). *Qualitative research and evaluation methods*. (3rd ed.) Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Patton, M.Q.(2014). *Qualitative research & evaluation methods integrating theory and practice* (4th ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Phillips, K. A. ve Germann, P.J. (2002). The inquiry 'I': A tool for learning scientific inquiry. *The American Biology Teacher*, 64(7), 512-520.
- Ramesh, M. (2014). *Acquisition of science process skills through experiential learning in students of standart VIII*. Department of Education Centre of Advanced Study in Education, The Maharaja Sayajirao University of Baroda, Vadodara.
- Renner, J. W. (1986). Rediscovering the lab. *The Science Teacher*, 53, 44-45.
- Rezba, R. J., Sprague, C., McDonnough, J.T. ve Matkins, J. J. (2007). *Learning and assessing science process skills* (5.baskı). Dubuque, IA: Kendall/Hunt.
- Richards, L. ve Morse, J. M. (2013). *Read me first for a user's guide to qualitative methods* (3rd ed.). Los Angeles, CA: Sage.
- Sadeh, I. ve Zion, M. (2012). Which type of inquiry project do high school biology students prefer: Open or guided?. *Research in Science Education*, 42(5), 831-848.
- Smith, M. K., Wood, W. B., Adams, W. K., Wieman, C., Knight, J. K., Guild, N. ve Su, T. T. (2009). Why peer discussion improves student performance on in-class concept questions. *Science*, 323(5910), 122-124.
- Supriyono, M. ve Jauharyah, M.N.R. (2014). Improving student's scientific abilities using guided inquiry laboratory. *International Journal of Education Research and Technology*, 5(3), 18-23.doi.: 10.15515/ijert.0976-4089.5.3.1823.
- Şen, H. S. ve Erişen, Y. (2002). Öğretmen yetiştiren kurumlarda öğretim elemanlarının etkili öğretmenlik özellikleri. *Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22(1), 99-116.
- Tamir, P., Stavy, R. ve Ratner, N. (1998). Teaching science by inquiry: Assessment and learning. *Journal of Biological Education*, 33(1), 27-32.
- Tatar, N., Korkmaz, H. ve Şaşmaz Ören, F. (2007). Araştırmaya dayalı fen laboratuvarlarında bilimsel süreç becerilerini geliştirmede etkili araçlar: Vee ve I diyagramları. *İlköğretim Online*, 6(1), 76-92.
- Tien, L. T., Roth, V. ve Kampmeier, J. A. (2002). Implementation of a peer-led team learning instructional approach in an undergraduate organic chemistry course. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(7), 606-632.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation [UNESCO].(1992). *Towards developing new teacher competencies in response to mega trends in curriculum reforms*. A Report of a regional study Group Meeting on Teacher Education. Bangkok: UNESCO Principal Regional Office for Asia and the Pacific.
- Weaver, G. C., Russel, C. B. ve Wink, D. J. (2008). Inquiry-based and research-based laboratory pedagogies in undergraduate science. *Nature Chemical Biology*, 4(10), 577-480.
- Wenning, C. J. (2011). The levels of inquiry model of science teaching. *Journal of Physics Teacher Education*, 6(2), 17-20.
- White, H. B. (2002). Commentary: The promise of problem-based learning. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 30(6), 419.
- Windschitl, M., Thompson, J. ve Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92(5), 941-967.
- Yamak, H., Bulut, N. ve Dündar, S. (2014). 5. sınıf öğrencilerinin bilimsel süreç becerileri ile fene karşı tutumlarına fetemm etkinliklerinin etkisi. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 34(2), 249-265.
- Yin, R.K. (2003). *Case study research: Design and methods*. Thousand Oaks, California: Sage.

Ek 1. I diyagramı aracı bölümleri

Adı Soyadı: No:		ARAŞTIRMA SORUSU:		YENİ PROBLEM / SORU:		METRİKLER	
MEDENİ SORUSU		Ön Bilgi (Ön Yargı, Ön Arg., Teoriler, Pransipler, Araçlar, Yaratıcılık) <b>Kavramlar</b>		Yeni Bilgi Yeni Teoriler Yeni Araştırma (Bilgi İddiası daha geniş bir gerçeğe nasıl yenebilir)		İDİSİ İYEL	
MANTIKSAL TARTIŞMA		Hipotez Eğer (bu doğru ise...)	MANTIKSAL TARTIŞMA	Bilgi İddiası Bundan dolayı...		SONUÇLAR	
		Deney Tasarımı (Eğer hipotezi test etmek için bir deney tasarlasam...)		Kanıt Çünkü...			
		Tahmin (Deney sonucuna göre beklenen şu olacaktır...)		Karar Şu karara vardım...			
DEMEYSEL TASARIM		Needense Değişken (Bağımsız Değişken) (Kontrol Değişken)	DEMEYSEL TASARIM	Veri Dönüşümü Reaksiyonların Gösterimi		VERİ DÖNÜŞÜMÜ	
İŞLEM BASAMAKLARI		İşlem Basamakları Bağımlı Değişkenlerin Cevaplarını Kaydetmek Deneyler	İŞLEM BASAMAKLARI	Veri Toplama Tablolar		VERİ TOPLAMA	
			Bir araştırma yapmak için *Doğal bir olayı tanımlama *Doğal olay ve objektleri karşılaştırma		*Hipotezi test etme *Neden sonuç ilişkisini anlama		

Ek 2. Örnek bir soruya ait puanlama kriteri

Kategoriler		Puanlama Kriterleri	
Soru No	BSB	Tam Doğru (TD); Kısmen Doğru (KD); Yanlış (Y); Boş (B)	P
8.soru	Değişkenleri belirleme, değişkenleri değiştirme ve kontrol etme	<b>TD</b> Deneyle ilgili hipotezin ve değişkenlerin doğru belirlendiği cevaplar	2
		<b>KD</b> Deneyle ilgili hipotez ve değişkenlerden bir ya da birkaçının doğru, yanlış veya boş olarak birlikte bulunduğu cevaplar	1
		<b>Y</b> Deneyle ilgili hipotez ve değişkenlerden tümünün yanlış verildiği veya kavram yanlışlığı içeren cevaplar	0
		<b>B</b> Boş bırakılan ya da anlamadım, bilmiyorum, fikrim yok şeklinde verilen cevaplar	0



# Synthesis and Antimicrobial Activity Studies of Cyclobutane Ring Containing Schiff Base and their Metal Complexes

İbrahim Yılmaz<sup>1\*</sup>, Alaaddin Çukurovalı<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Kamil Özdağ Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Karaman (ORCID: 0000-0002-9447-3065)

<sup>2</sup>Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Elazığ (ORCID: 0000-0002-8297-2350)

(First received 18 September 2019 and in final form 27 October 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.621366)

**ATIF/REFERENCE:** Yılmaz, İ. & Çukurovalı, A. (2019). Synthesis and Antimicrobial Activity Studies of Cyclobutane Ring Containing Schiff Base and their Metal Complexes. *European Journal of Science and Technology*, (17), 437-444.

## Abstract

Cyclobutane derivatives are used in many fields. Particularly in the field of medicine, the production of some anti-disease drugs is one of them. The 3-substituted cyclobutane carboxylic acid derivatives exhibit anti-inflammatory and antidepressant activities. Schiff bases are increasingly important in analytical chemistry as well as in the production of dyes, preparation of certain drugs, electronics industry, plastics industry and various branches such as liquid crystal technology. In this study, thiosemicarbazone derivative Schiff base containing cyclobutane group and their Cu(II), Ni(II) ve Zn(II) complexes were synthesised and characterized. Purification of the synthesised compounds were carried out with crystallography and column chromatography techniques. In the characterization of the Schiff base and their complexes, IR, <sup>1</sup>H NMR, <sup>13</sup>C NMR spectral techniques and elemental analysis were used. All the complexes were found to be mononuclear and ML<sub>2</sub> form. Besides, antimicrobial activities of the Schiff base and its transition metal complexes have been tested different microorganisms.

(Minimum 250 - Maximum of 400 words and content should be written in a way to include material, method, findings and results.)

**Keywords:** Schiff Bases, Cyclobutane, Metal Complexes, Antimicrobial Activity

## Siklobütan Halkası İçeren Schiff Bazı ve Metal Komplekslerinin Sentezi ve Antimikrobiyal Aktivite Çalışmaları

### Öz

Siklobütan türevleri bir çok alanda kullanılmaktadır. Özellikle tıp alanında bir kısım hastalıklara karşı ilaçların üretimi bunların başında gelmektedir. 3-sübstitüe siklobütan karboksilik asit türevleri antiinflamator ve antidepresant aktiviteler göstermektedir. Schiff bazları analitik kimyada olduğu kadar boyar maddelerin üretiminde, bazı ilaçların hazırlanmasında, elektronik endüstrisinde, plastik sanayiinde ve sıvı kristal teknolojisi gibi çeşitli dallarda gittikçe artan öneme sahip maddelerdir. Bu çalışmada yapısında siklobütan grubu bulunan tiyosemikarbazon türevi Schiff bazı ve bunun nikel, bakır ve çinko kompleksleri sentezlenmiştir. Sentezlenen bileşiklerin saflaştırılması kristallendirme ve kolon kromatografisi ile yapılmıştır. Karakterizasyon işlemlerinde ise IR, <sup>1</sup>H NMR, <sup>13</sup>C NMR ve elementel analiz gibi enstrümental analiz yöntemleri kullanılmıştır. Sentezlenen komplekslerin mononükleer olduğu ve ML<sub>2</sub> yapısında olduğu bulunmuştur. Ayrıca, sentezlenen bileşiklerin farklı mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal etkileri araştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Schiff Bazı, Siklobütan, Metal Kompleksleri, Antimikrobiyal Aktivite

## 1. Giriş

Schiff bazları, bir aminin bir aldehit ile su açığa çıkarak kondenzasyon reaksiyonu ile kolayca oluşturulabilir [1,2]. IR spektroskopisinde güçlü bantlar veren imin veya azometin grupları ( $>C=N-$ ) ile karakterize edilirler. Genellikle imin azot merkezi [3-5] aracılığıyla bir metale koordine edilirler. Schiff bazları genellikle çeşitli oksidatif ve indirgeyici koşullar altında kararlıdır ve yapısal esneklikleri, çeşitli uygulamalarıyla ilişkilidir [6-11]. Geçiş metali koordinasyon kimyasında şelat ligandları olarak merkezi bir rol oynarlar. Literatür, Schiff baz ligandlarının çalışmasının kimyadaki birçok önemli gelişme ile bağlantılı olduğunu açıkça göstermektedir [12,13].

Schiff bazlarının geçiş metal komplekslerinin kimyası uzun zamandan beri önemsenmekte ve inorganik kimyada bugüne kadar umut vaad eden bir araştırma konusudur [14]. Schiff bazı kompleksleri, moleküler ferromanyetlerin tasarımında ve sentezinde [15-18], çeşitli (biyomimetik) katalitik reaksiyonlarda ve biyolojik modelleme uygulamalarında [19-24] sıkça kullanılır. Schiff bazları ayrıca tıbbi ve farmasötik kimyada kullanıma potansiyeline sahip bir kompleksler sınıfı oluşturur. Bu tür birçok kompleks antibakteriyel, antifungal ve antitümör aktiviteleri nedeniyle biyolojik uygulamalara sahiptir [25-28]. Geçiş metalleri ile komplekslerin oluşumunun biyolojik aktivitelerinin artmasına ve Schiff bazlarının sitotoksitesinde azalmaya yol açtığı da iyi bilinmektedir [29,30].

Nitrojen ve oksijen donör seti olan Schiff bazı ligandlar özellikle ilgi çekicidir çünkü yapıdaki değişkenlik ve moleküler ortamlardaki hassasiyet nedeniyle metal iyonları ile çeşitli koordinasyon modları sağlarlar [31-38]. O-amino fenol biyolojik olarak aktif bir organik kısım olduğundan, o-amino fenolden türetilen Schiff bazları böcek ilacı ve tıptaki uygulamaları nedeniyle biyolojik alanda ilgi çekmektedir [39-40].

Bu çalışmada formülleri Şekil 1'de verilen Schiff bazı ve bunun ve Ni(II), Cu(II) ve Zn(II) kompleksleri sentezlenmiş ve FT-IR,  $^1H$  NMR,  $^{13}C$  NMR ve elementel analiz gibi enstrümental analiz yöntemleri kullanılarak karakterizasyonları yapılmıştır. Ayrıca sentezlenen bileşiklerin üçü mantar, üçü bakteri olmak üzere altı farklı mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal etkileri araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Kullanılan Kimyasal Maddeler ve Cihazlar

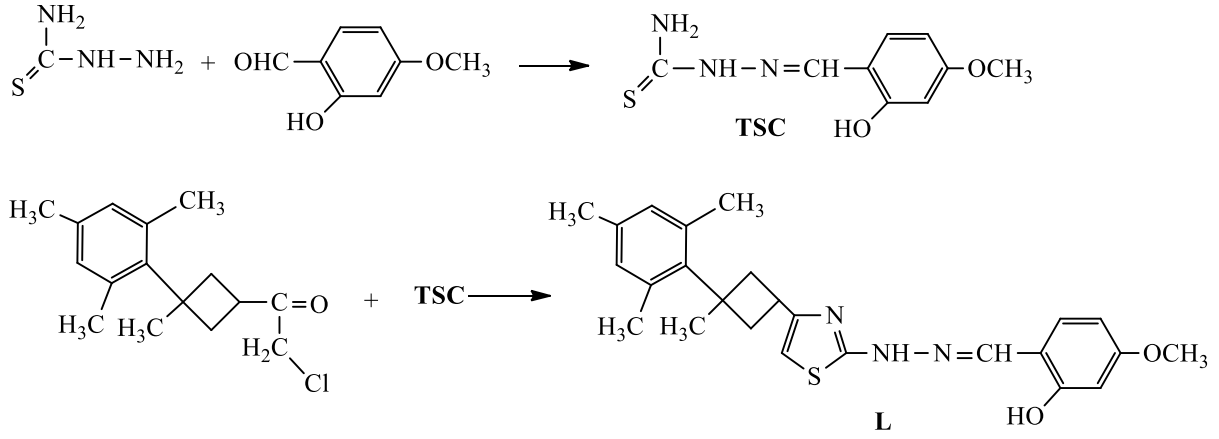
Çalışmada kullanılan kimyasallar Merck firmasından temin edilmiş ve saflaştırılmadan kullanılmıştır. Sentezlenen maddelerin karakterizasyonlarında ise IR spektrumları için; Mattson 1000 FT-IR Spectrometre,  $^1H$  NMR spektrumları için; Bruker GmbH Dpx-300 MHz FT-NMR, elementel analiz için; LECO CHNSO-932, erime noktası tayini için; Gallenkamp erime noktası tayin cihazı kullanılmıştır.

#### 2.1.1. (2-Hidroksi-4-metoksi benziliden) tiyosemikarbazit'in Sentezi

(2-Hidroksi-4-metoksi benziliden) tiyosemikarbazit'in sentezi literatüre uygun olarak gerçekleştirilmiştir [41]. Özetle, 10 mmol tiyosemikarbazitin 50 mL mutlak etanoldeki süspansiyonu üzerine 10 mmol aldehitin 20 mL mutlak etanoldeki çözeltisi ilave edildi. Reaksiyon 60-70 °C'ta 2-3 saat devam ettirildikten sonra durduruldu. Oluşan çökelek süzülerek bir kaç kez soğuk alkolle yıkandıktan sonra kurutuldu.  $^1H$ -NMR (300 MHz,  $CDCl_3$ )  $\delta$  3.71 (s, 3H,  $CH_3$  orto), 7.80 (br, 1H,  $NH_2$ ), 7.97 (br, 1H,  $NH_2$ ), 8.26 (s, 1H,  $HC=N$ ), 9.91 (br, 1H,  $-NH$ ), 11.22 (s, 1H,  $-OH$  para), 6.40 (d, 1H, Ar.), 6.42 (dd, 1H, Ar.), 7.77 (d, 1H, Ar.)  $^{13}C$ -NMR ( $CDCl_3$ )  $\delta$  55.33, 101.52, 107.00, 113.93, 128.98, 141.01, 158.56, 162.56, 177.92

#### 2.1.2. 4-(1-mezitil-1-metilsiklobütil-3-il)-2-(2-hidroksi-4-metoksibenzilidenhidrazino) tiyazol'ün Sentezi

10 mmol tiyosemikarbazon (TSC) bileşiğinin 30 mL mutlak etanoldeki sıcak çözeltisi üzerine 10 mmol klor-ketonun 10 mL mutlak etanoldeki sıcak çözeltisi damla damla ilave edildi. Reaksiyon 50-60 °C'ta IR ile takip edilerek devam ettirildi. Reaksiyon durdurulduktan sonra %5'lik  $NH_3$  çözeltisi ile nötrleştirildi. Oluşan çökelek süzülerek kurutulduktan sonra etil alkolde kristallendirildi.  $^1H$ -NMR (300 MHz,  $CDCl_3$ )  $\delta$  1.50 (s, 3H,  $CH_3$ ), 2.14 (s,  $CH_3$  orto), 2.21 (s, 3H,  $-CH_3$  meta), 2.51-2.60 (d, 4H,  $CH_2$ ), 3.82 (s, 3H,  $OCH_3$  orto), 3.36 (q, 1H,  $>C-H$ ), 5.96 (s,  $CH$  tiyazol halkası), 6.42-6.52 (d, 1H, Ar.), 6.82 (dd, 1H, Ar.), 6.91 (d, 1H, Ar.), 6.92 (br, 1H,  $-NH$ ), 7.98 (s, 1H,  $HC=N$ ), 10.55 (s, 1H,  $-OH$ ).  $^{13}C$ -NMR ( $CDCl_3$ )  $\delta$  20.66, 21.59, 24.78, 30.68, 41.01, 43.38, 55.68, 99.73, 101.65, 103.20, 106.94, 111.87, 130.61, 131.55, 135.07, 135.31, 144.08, 147.50, 159.85, 162.33, 169.08



Şekil 1. Schiff bazının sentezinin şematik gösterimi

### 2.1.2. Metal (II) Komplekslerinin Sentezi

0.5 mmol ligandın 20 mL mutlak etanoldeki sıcak çözeltisine 0.25 mmol Metal(AcO)<sub>2</sub>·'nun 10 mL mutlak etanoldeki sıcak çözeltisi damla damla ilave edildi. Reaksiyon geri soğutucu altında 70-80 °C'ta 30-40 dakika karıştırılarak devam ettirildikten sonra durduruldu. Bir gece beklendikten sonra oluşan çökelek süzülerek önce soğuk etil alkolle sonra su ile yıkandı.

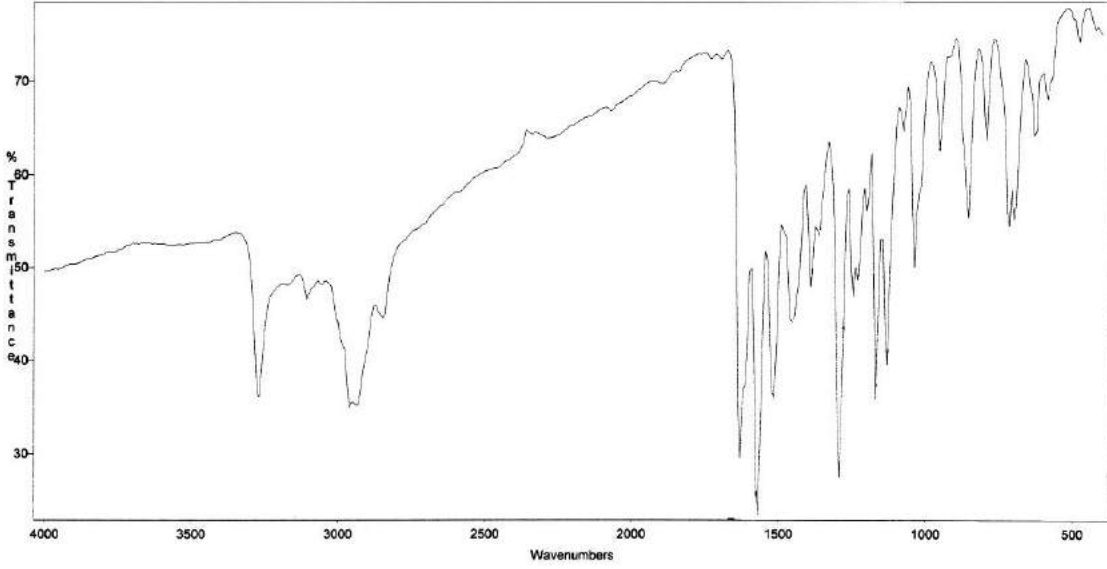
### 2.1.2. Mikrobiyal kültürlerin hazırlanması

Mikroorganizmalar, Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Mikrobiyoloji Laboratuvarı kültür koleksiyonundan temin edilmiştir. Bu çalışmada, ligand ve ligandın geçiş metal komplekslerinin bakteriyolojik ve antifungal aktivitelerinin araştırılmasında, Bacillus megaterium DSM 32 (Bm), Staphylococcus aureus COWAN I (Sa), Klebsiella Pneumonia FMC 5 (Kp), Escherichia coli ATCC 25922 (Ec) ve Candida albicans FMC 17 (Ca) kullanılmıştır. Bakteriler ve mayalar, besi ortamına (Difco) ve malt özü suya (Difco) aşılanmış ve sırasıyla 24 ve 48 saat boyunca inkübe edilmiştir. Disk Difüzyon yönteminde bakteriler için steril Mueller Hinton Agar (Oxoid) ve maya için Sabouroud Dextrose Agar test mikroorganizmaları ile ayrı ayrı aşılanmıştır. CHCl<sub>3</sub>'te 50 ug / disk çözeltileri halinde çözülen bileşikler, agar ortamına yerleştirilmiş oyuklara (6 mm çap) yerleştirilmiş ve plakalar, bakteriler için 32 °C'de (18-24 saat) ve maya için 25 °C'de (72 saat) kuluçkalanmıştır. Plakalar üzerinde ortaya çıkan inhibisyon bölgeleri 48 saat sonra mm olarak ölçülmüştür (Tablo 5). Kontrol örnekleri sadece CHCl<sub>3</sub>'te emdirilmiştir

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

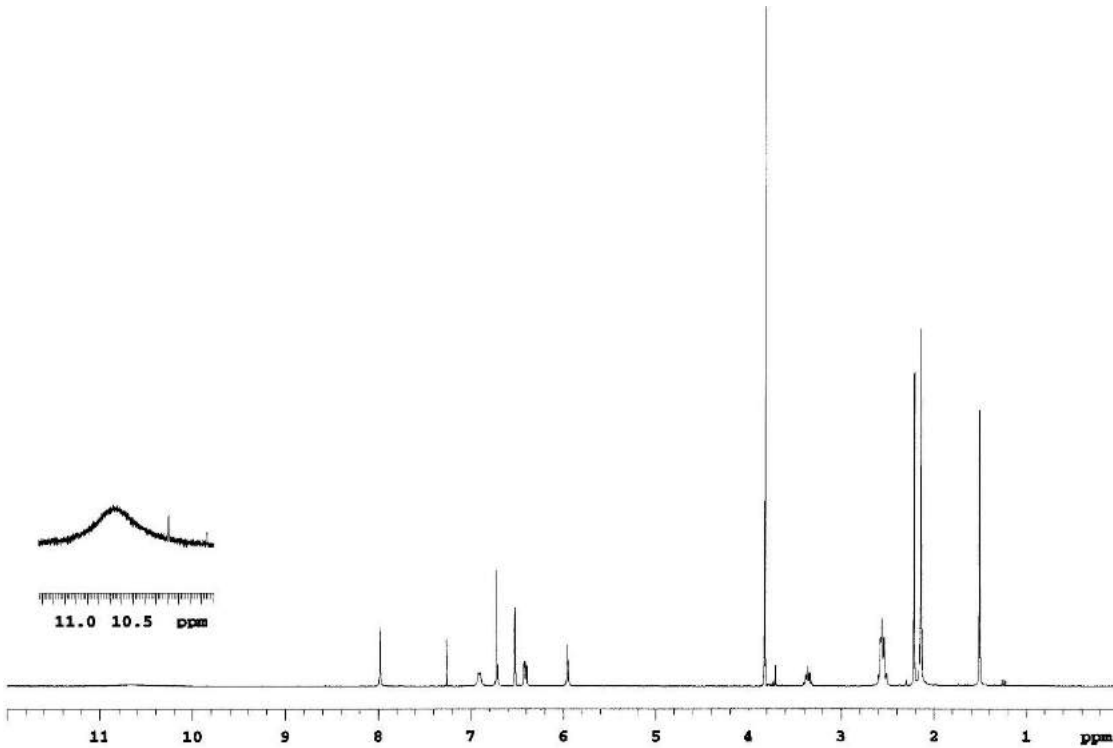
Bu çalışmada siklobütan grubu ihtiva eden tiyosemikarbazon türevi Schiff bazı ve bunun Cu(II), Ni(II), Zn(II) kompleksleri sentezlenmiş ve karakterizasyonları yapılmıştır. Sentezlerin aşamaları Şekil 1'de verilmiştir. Bu maddelerin karakterizasyonları IR, <sup>1</sup>H NMR, <sup>13</sup>C NMR ve elementel analiz gibi enstrümental analiz yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Sentezlenen maddelerin karakteristik IR pikleri Çizelge 1'de, analitik ve fiziksel verileri Çizelge 2'de verilmiştir. Schiff bazının IR spektrumu Şekil 2'de, ligandın <sup>1</sup>H NMR, <sup>13</sup>C NMR spektrumları Şekil 3-4'te verilmiştir



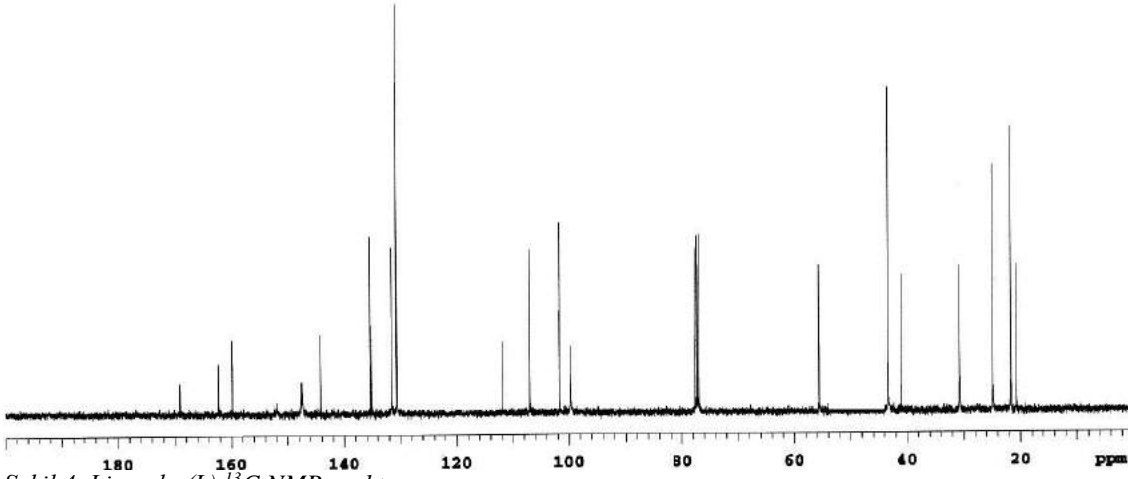


Şekil 2. Ligandın(L) IR spektrumu

Sentezlenen bileşiklerin IR spektrumları değerlerinde, tiyosemikarbazon bileşiğinin karakteristik pikleri olan  $\text{NH}_2$ 'ye ait pikler  $3476$  ve  $3361 \text{ cm}^{-1}$ 'de,  $\text{OH}$ 'a ait pik  $3162 \text{ cm}^{-1}$ 'de,  $\text{N-H}$ 'a ait pik  $3115 \text{ cm}^{-1}$ 'de,  $\text{C=N}$ 'e ait pik  $1630 \text{ cm}^{-1}$ 'de ve  $\text{C-O}$ 'ya ait pik ise  $1130 \text{ cm}^{-1}$ 'de görülmektedir. Ligandın IR spektrumu değerleri ise;  $\text{OH}$ 'a ait pik  $3276 \text{ cm}^{-1}$ 'de, azometine ( $\text{C=N}$ ) ait pik  $1630, \text{ cm}^{-1}$ 'de,  $\text{C-O}$ 'ya ait pik  $1130 \text{ cm}^{-1}$ 'de görülmektedir (Çizelge 1). Şekil 3-4'te verilen  $^1\text{H}$  NMR,  $^{13}\text{C}$  NMR spektrumlarına bakıldığında, spektrumların önerilen yapı ile uyumlu olduğu ve sentezlerin gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Çizelge 2' de verilen elementel analiz sonuçları da dikkate alınır, beklenen yapıların oluştuğu söylenebilir.

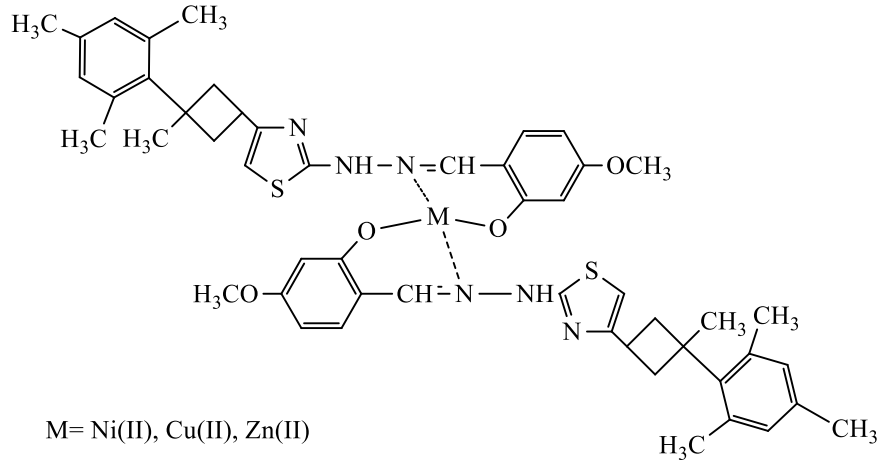


Şekil 3. Ligandın  $^1\text{H}$  NMR spektrumu



Şekil 4. Ligandın(L) <sup>13</sup>C NMR spektrumu

Şekil 3' te verilen <sup>1</sup>H NMR değerlerine bakıldığında 7.98 ppm'de CH=N'e ait bir protonluk singlet, 5.96 ppm'de tiyazol halkasındaki CH' a ait bir protonluk singlet, 6.92 ppm'de N-H'a ait bir protonluk singlet, 10.55 ppm'de OH'a ait bir protonluk singlet ve 6.42-6.91 ppm'de aromatlara ait multipler pik değerleri görülmektedir. Bu değerler söz konusu Schiff bazının yapısını doğrulamaktadır. Şekil 4' te verilen <sup>13</sup>C NMR spektrumuna bakıldığında da bileşikteki Karbon sayıları ile spektrumdaki Karbon sayıları uyumaktadır.



Şekil 5. Schiff bazının metal kompleksleri için önerilen yapı

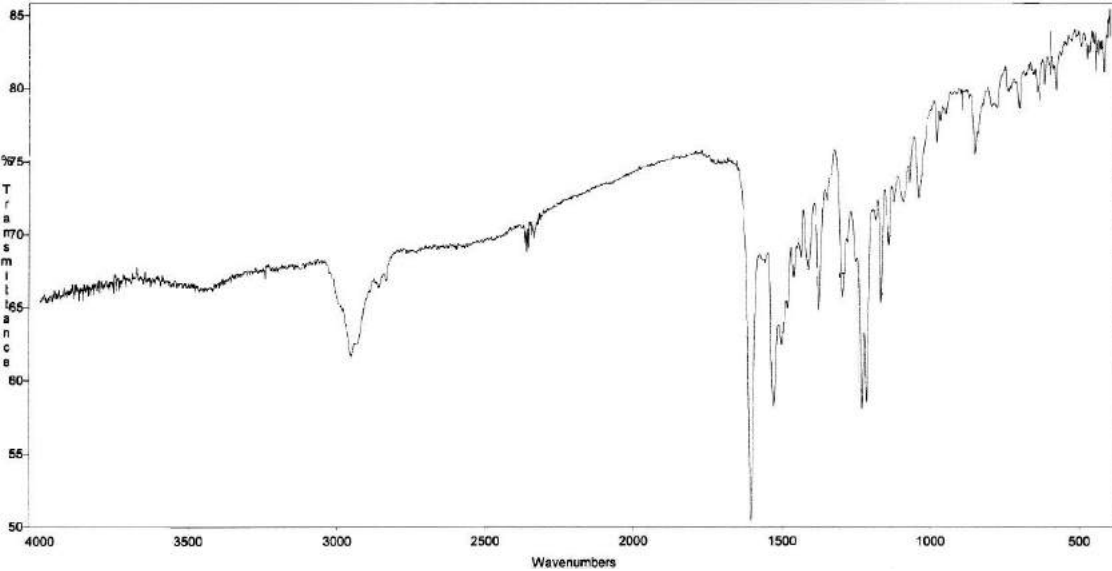
Çizelge 1. Ligandın ve komplekslerin karakteristik IR pikleri (cm<sup>-1</sup>)

Bileşik	ν(O-H)*	ν(NH <sub>2</sub> )	ν(N-H)	ν(C=N) Azometin	ν(C-O)	ν(C-S-C) Tiyazol
TSC	3162	3476-3361	3115	1630	1130	623
L	3276	-	3115	1630	1130	630
(L) <sub>2</sub> Cu	-	-	3115	1606	1138	630
(L) <sub>2</sub> Ni	-	-	3115	1606	1144	630
(L) <sub>2</sub> Zn	-	-	3115	1606	1144	630

Çizelge 2. Ligandın ve komplekslerin analitik ve fiziksel verileri

Bileşik	M.A. g mol <sup>-1</sup>	Renk	E.n. (°C)	Element Analizi, % Bulunan (Hesaplanan)			
				C	H	N	S
TSC	225.3	Beyaz	238	47.65 (47.99)	4.94 (4.92)	18.33 , (18.65)	14.70 (14.23)
L	421.6	Açık Pembe	202	53.21 (68.93)	4.04 (6.71)	8.86 (9.65)	6.76 (7.36)
(L) <sub>2</sub> Cu	932,7	Koyu yeşil	298 <sup>d</sup>	65.12 (64.39)	6.63 (6.05)	8.38 (9.03)	6.40 (6.88)
(L) <sub>2</sub> Ni	927.8	Sarı	316	65.39 (64.72)	6.65 (6.08)	8.43 (9.06)	6.43 (6.91)
(L) <sub>2</sub> Zn	934.5	Sarı	292	65.02 (64.26)	6.62 (6.04)	8.37 (8.99)	6.39 (6.86)

Nikel (II), Bakır(II) ve Çinko(II) komplekslerinin karakterizasyonlarında IR spektroskopisi ve elementel analiz yöntemleri kullanılmıştır. Komplekslerin IR spektrumu (örnek olarak Şekil 6' da Nikel kompleksine ait IR spektrumu verilmiştir) değerlerine bakıldığında ise, koordinasyona katılması beklenen OH'a ait piklerin kaybolduğu, azometine (C=N) ve C-O'ya ait piklerde kaymalar olduğu görülmektedir. Bunlar kompleksleşmenin imin azotu ve fenolik OH üzerinden olduğunu göstermektedir. Ayrıca tiyazol halkasına ait C=N, C-S-C ve N-H'a ait piklerin yerlerinde değişiklik olmaması tiyazol halkasının ve N-H'in koordinasyona katılmadığını göstermektedir. Elementel analiz değerlerine dayanarak komplekslerin yapısının ML<sub>2</sub> şeklinde mononükleer olduğu söylenebilir (Şekil 5).



Şekil 6. Ni(II) kompleksinin IR spektrumu

Çizelge 3. Ligand ve metal komplekslerinin antimikrobiyal etkileri

Bileşik	B.m. DSM 32	S.a. COWAN I	K.p. FMC 5	E.c. ATCC 25922	C.a. FMC 17
<b>TSC</b>	-	23.00±0.57	-	-	-
<b>L</b>	-	-	-	-	-
<b>(L)<sub>2</sub>Cu</b>	-	-	-	-	-
<b>(L)<sub>2</sub>Ni</b>	-	13.00±0.33	-	-	-
<b>(L)<sub>2</sub>Zn</b>	-	-	-	-	-
<b>A.10</b>	17.00±0.54	17.00±0.57	16.00±0.33	-	-
<b>B.30</b>	-	-	-	-	18.00 0.33

\*Bileşiklerin konsantrasyonu= 50 µg/disc. Disk yarıçapı (6 mm). A.10: Streptomycin Sulfat: 10 µg/disc. B.30: Nystatin: 30 µg/disc. (-) mikroorganizmalara karşı herhangi bir etkinin olmadığını göstermektedir

Antimikrobiyal aktivite çalışmalarından elde edilen sonuçlar Çizelge 3'te verilmiştir. Çizelgedeki değerlere bakıldığında tüm mikroorganizmalara karşı ligand, bakır ve çinko komplekslerinin hem bakteri hem de mantarlara karşı inhibisyon göstermediği tespit edilmiştir. Nikel kompleksi sadece bakterilerde aktivite göstermiştir.

## 4. Sonuç

Bu çalışmada, yapısında siklobütan grubu ihtiva eden tiyosemikarbazon türevi Schiff bazı ve bu Schiff bazının Ni(II), Cu(II) ve Zn(II) kompleksleri sentezlenmiştir. Sentezlenen bileşiklerin yapıları elementel analiz, IR, <sup>13</sup>C- ve <sup>1</sup>H NMR spektroskopisi yöntemleriyle karakterize edilmiştir. Ayrıca, sentezlenen maddelerin bazı bakteri ve mantarlara karşı antimikrobiyal etkileri araştırılmıştır.

## 4. Teşekkür

Bu çalışma Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 30-M-16 numaralı proje tarafından desteklenmiştir.

## Kaynakça

- [1] H. Schiff, mitteilugen aus dem universities laboratorium in pisa: Finencue reihe organischerbasen. Justus Liebig's Ann. Chem. 131 (1864) 118.
- [2] S. Yamada, Advancement in stereochemical aspects of Schiff base metal complexes. Coord. Chem. Rev. 190e192 (1999) 537.
- [3] S. Roy, S. Halder, M.G.B. Drew, P.P. Ray, S. Chattopadhyay. Unprecedented photosensitivity of heterotrimetallic copper(ii)/sodium/mercury(ii) coordination polymer based thin film semiconductor device. New J. Chem. 42(2018) 15295.
- [4] A. Biswas, M.G.B. Drew, J. Ribas, C. Diaz, A. Ghosh. Synthesis, Crystal Structures and Magnetic Properties of a Phenoxo-Bridged Dinuclear Cu-II Complex and a Dicyanamide Bridged Novel Molecular Rectangle Based on It. Eur. J. Inorg. Chem. (2011)2405.
- [5] O.A.M. Ali, S.M.E. Medani, M.R.A. Serea, A.r.S.S. Sayed, Spectrochim. Acta, PartA 136 (2015) 651.[
- [7] P.G. Cozzi, Metal-Salen Schiff base complexes in catalysis: practical aspects. Chem. Soc. Rev. 33 (2004) 410.
- [8] K.C. Gupta, A.K. Sutar, Catalytic activities of Schiff base transition metal complexes. Coord. Chem. Rev. 252 (2008) 1420.
- [9] J.P. Costes, S. Shova, W. Wernsdorfer. Structural and Magnetic Study of a Trinuclear Mn-II-Gd-III-Mn-II Complex. J. Chem. Soc., Dalton Trans. (2008)1843.
- [11] M. Orio, O. Jarjays, H. Kanso, C. Philouze, F. Neese, F. Thomas, X-Ray Structures of Copper(II) and Nickel(II) Radical Salen Complexes: The Preference of Galactose Oxidase for Copper(II). Angew. Chem.Int. Ed. 49 (2010) 4989.
- [12] K.C. Gupta, A.K. Sutar, C.-C. Lin, Polymer-supported Schiff base complexes in oxidation reactions. Coord. Chem. Rev. 253 (2009) 1926.
- [13] D. Zhang, H. Wang, Y. Chen, Z.-H. Ni, L. Tian, J. Jiang, Hydrogen-Bond Directed Cyanide-Bridged Molecular Magnets Derived from Polycyanidometalates and Schiff Base Manganese(III) Compounds: Synthesis, Structures, and Magnetic Properties. Inorg. Chem. 48 (2009)11215.
- [14] J. Lewinski, J. Zachara, I. Justyniak, M. Dranka, Hydrogen-bond supramolecular structure of group Schiff base complexes. Coord. Chem. Rev. 249 (2005)1185.

- [15] S. Mandal, G. Rosair, J. Ribas, D. Bandyopadhyay, Synthesis, crystal structure and magnetic characterization of a new phenoxo-bridged binuclear manganese(III) Schiff base complex exhibiting single-molecule-magnet behavior. *Inorg. Chim. Acta* 362 (2009) 2200.
- [16] S. Thakurta, P. Roy, G. Rosair, C.J.G. García, E. Garribba, S. Mitra, Ferromagnetic exchange coupling in a new bis( $\mu$ -chloro)-bridged copper(II) Schiff base complex: Synthesis, structure, magnetic properties and catalytic oxidation of cycloalkanes. *Polyhedron* 28 (2009) 695.
- [17] S. Saha, S. Pal, C.J.G. García, J.M. Clemente-Juan, K. Harms, H.P. Nayek, Design of end-on cyanato bridged trinuclear Cu(II) Schiff base complex with salen type Schiff base ligand: synthesis, structural investigation and DFT study. *Polyhedron* 74 (2014) 1.
- [18] G. Bhargavi, M.V. Rajasekharan, J.-P. Costes, J.-P. Tuchagues, Antiferromagnetic interactions through phenoxo bridges and lattice water: Synthesis, structure, and magnetic properties of new Mn(III) Schiff base complexes in combination with thiocyanate ligand. *Polyhedron* 28(2009) 1253.
- [19] K. Ghosh, M.G.B. Drew, S. Chattopadhyay, Synthesis and structure of a cobalt(III) complex containing pendant Schiff base ligand: Exploration of its catechol oxidase and phenoxazinone synthase like activity. *Inorg. Chim. Acta* 482 (2018) 23.
- [20] N. Sarkar, K. Harms, S. Chattopadhyay, Methylene spacer regulated variation in conformation of tetradentate N<sub>2</sub>O<sub>2</sub> donor Schiff bases trapped in manganese(III) complexes. *Polyhedron* 141 (2018) 198.
- [21] C.-T. Yang, M. Vetrichelvan, X. Yang, B. Moubaraki, K.S. Murray, J.J. Vittal, Syntheses, structural properties and catecholase activity of copper(II) complexes with reduced Schiff base N-(2-hydroxybenzyl)-amino acids. *Dalton Trans.* (2004) 113.
- [22] T. Basak, A. Bhattacharyya, M. Das, K. Harms, A. Bauza, A. Frontera, S. Chattopadhyay, *Chemistry* 2 (2017) 6286.
- [23] S. Bosch, P. Comba, L.R. Gahan, G. Schenk, Dinuclear Zinc(II) Complexes with Hydrogen Bond Donors as Structural and Functional Phosphatase Models. *Inorg. Chem.* 53 (2014) 9036.
- [24] R. Sanyal, X. Zhang, P. Kundu, T. Chattopadhyay, C. Zhao, F.A. Mautner, D. Das, Mechanistic Implications in the Phosphatase Activity of Mannich-Based Dinuclear Zinc Complexes with Theoretical Modeling. *Inorg. Chem.* 54 (2015) 2315.
- [25] A.A. Jarrahpour, M. Motamedifar, K. Pakshir, N. Hadi, M. Zarei, Synthesis of novel azo Schiff bases and their antibacterial and antifungal activities. *Molecules* 9(2004) 815.
- [26] A.M. Mahindra, J.M. Fisher, M. Rabinovitz, Bathocuproine Sulfonate - A Tissue Culture-Compatible Indicator Of Copper-Mediated Toxicity. *Nature* 303 (1983) 64.
- [27] T.L. Yang, X.S. Tai, W.W. Qin, W.S. Liu, M.Y. Tan, Determination of trace terbium(III) with N,N',N''-tri(3-indolemethanol)triaminotriethylamine based on a new fluorescence enhancement system. *Anal. Sci.* 20 (2004) 493.
- [29] D. Dey, G. Kaur, A. Ranjani, L. Gayathri, P. Chakraborty, J. Adhikary, J. Pasan, D. Dhanasekaran, A.R. Choudhury, M.A. Akbarsha, N. Kole, B. Biswas, *Eur. J. Inorg. Chem.* (2014) 3350.
- [30] A.P. Vieira, C.A. Wegermann, A.M.D.C. Ferreira, *New J. Chem.* 42 (2018) 13169.
- [31] S.V. More, D.V. Dongarkhadekar, R.N. Chavan, W.N. Jadhav, S.R. Bhusare, R.P. Pawar, Synthesis and characterization of Pd(II), Pt(II), Cu(I), Ag(I) and Cu(II) complexes with N,O-hybrid pyrazole ligand, *J. Indian Chem. Soc.* 79 (2002) 768.
- [32] A.K. Bhendkar, K. Vijay, A.W. Rant, Synthesis, spectroscopic characterization and biological evaluation studies of Schiff's base derived from naphthofuran-2-carbohydrazide with 8-formyl-7-hydroxy-4-methyl coumarin and its metal complexes. *Acta Cienc. Indica - Chem.* 30 (2004) 29.
- [33] S. Shu, X. Cai, J. Li, Y. Feng, A. Dai, J. Wang, D. Yang, Ming-Wei Wang, H. Liu, Synthesis and enzyme inhibitory activities of some new pyrazole-based heterocyclic compounds *Bioorg. Med. Chem.* 24 (2016) 2852.
- [34] N. Raghav, M. Singh, Mixing Of States And The Determination Of Ligand-Field Parameters For High-Spin Octahedral Complexes Of Nickel(II) - Electronic-Spectrum And Structure Of Bis(1,7-Diaza-4-Thiaheptane)Nickel(II) Perchlorate *Bioorg. Chem.* 75 (2017) 38.
- [35] S. Shit, J. Chakraborty, B. Samanta, A.M.Z. Slawin, V. Gramlich, S. Mitra, Conversion of some 2(3H)-furanones bearing a pyrazolyl group into other heterocyclic systems with a study of their antiviral activity *Struct. Chem.* 20 (2009) 633.
- [36] S. Basu, I. Pal, R.J. Butcher, G. Rosair, S. Bhattacharya, Electronic Properties And Stereochemistry Of Mono-Nuclear Complexes Of Copper(I) Ion. *J. Chem. Sci.* 117 (2005) 167.
- [37] M.A. Telpoukhovskaia, C. Orvig, Dispersion Corrections + Crystal Structure Refinements, *Chem. Soc. Rev.* 42 (2013) 1836.
- [38] A. Sarkar, S. Pal, Regioselective reaction: Synthesis, characterization and pharmacological studies of some new Mannich bases derived from 1,2,4-triazoles *Polyhedron* 26 (2007) 1205.
- [39] M. Aslam, I. Anis, N. Afza, A. Hussain, L. Iqbal, J. Iqbal, Z. Ilyas, S. Iqbal, A.H. Chaudhry, M. Niaz, Discovery and investigation of antiproliferative and apoptosis-inducing properties of new heterocyclic podophyllotoxin analogues accessible by a one-step multicomponent synthesis *Int. J. Curr. Pharmaceut. Res.* 4 (2012) 42.
- [40] M. Aslam, I. Anis, N. Afza, M.T. Hussain, L. Iqbal, A. Hussain, S. Iqbal, T.H. Bokhari, M. Khalid, Metal Complexes of Schiff Base Derived from Salicylaldehyde-a Review. *Med. Chem. Drug Dis.* 3 (2012) 80.
- [41] I. Yilmaz and A. Cukurovali, Synthesis and Antimicrobial Studies of Thiazole Containing Schiff Base and their Metal Complexes. *Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering.* 19, 3 (2019) .





# Hizmet kalitesi değerlendirmesi: Türkiye'de bir mobil ağ operatörü için optimizasyon performansı üzerine bir çalışma

Ibrahim Bahadır Basyigit<sup>1\*</sup>, Habib Doğan<sup>2</sup>, Abdullah Genç<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4558-5068)

<sup>2</sup>Ministry of Environment and Urbanization, Isparta, Türkiye (ORCID: 000-0001-8685-9569)

<sup>3</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7699-2822)

(İlk Geliş Tarihi 24 Eylül 2019 ve Kabul Tarihi 27 Ekim 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.624099)

**ATIF/REFERENCE:** Basyigit, İ. B., Doğan, H. & Genç, A. (2019). Hizmet kalitesi değerlendirmesi: Türkiye'de bir mobil ağ operatörü için optimizasyon performansı üzerine bir çalışma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 445-453.

## Özet

Her mobil ağın performansını korumak ve iyileştirmek için kontrol altında olması önemlidir. Optimizasyon, temel olarak istatistik verilerini ayrıntılı olarak inceleyerek ve sürüş testi sonuçlarını elde ederek/analiz ederek ağı izlemenin en etkili yoludur. Bu durum, ağın büyümesini ve ağın kapasitesinin gelişmesini mümkün kılar, mobil ağın işletme ve bakım ünitesindeki sorunlar hızla çözülür. Optimizasyonun başarılı olması için aşağıdakiler gereklidir: Çağrı başarısızlığının ana nedenlerini belirlemek ve analiz etmek, bir aramadan önce dijital ve RF verilerini anlamak. Optimizasyon, ağdaki spektrumu etkili bir şekilde kullanarak en iyi ağ kalitesini elde etmeyi amaçlar. Sahe kurulduktan ve yayına alındıktan sonra, sorunları mobil ağ kalitesi ölçütlerini karşılamak üzere bulup düzeltir. Dolayısıyla, optimizasyon işlemi, hücresel ağın kalitesini artırmak için sürekli ve tekrarlayan bir işlemdir. Ancak, bir sahada optimizasyon yaparken, diğer sitelerin parametrelerinin bozulmamasına özen gösterilmelidir. Bu makalede, bir mobil operatör için Rxlevel, RxQual, Konuşma Kalitesi Endeksi (SQI) gibi bazı parametreleri arttırmak ve servis kalitesini doğrudan etkileyen bazı sorunları çözmek için bir mobil operatör için Türkiye Diyarbakır'da bir optimizasyon çalışması yapılmıştır. Pek çok hücrede sinyal seviyesinin neredeyse aynı olması, görüş hattının kaybedilmesi durumu, komşu hücrelerine ait sinyallerinin ani görünümü ve kaybolması ve sinyal seviyesinde ani düşüşlerin gerçekleşmesidir. Sonuç olarak, bu problemler bazı durumlarda çözülmektedir: Komşu hücrelerin kapsama alanları, anten güçlerini ve antenlerin BTS'lerde aşağıya eğilme açıları azaltılarak giderilir. Servis hücrelerinin ikisini seçerek yeni bir frekans planlaması yapılır. Baz istasyonundaki problemler bölgeye hizmet veren sektörün anteni, 3 dB kazançla daha yüksek anten tipiyle değiştirilir. Ayrıca, bir tünele tekrarlayıcı adı verilen bir sinyal yükselticisi yerleştirilerek ve bu istenmeyen durumlar giderilir.

**Anahtar Kelimeler:** Servis kalitesi, mobil ağ, ana performans göstergeleri, radyo erişim ağı, hücresel haberleşme.

## Quality of service evaluation: A study on the optimization performance for a mobile network operator in Turkey

### Abstract

It is significant that each mobile network is under control to maintain and improve its performance. Optimization is basically the most effective way to monitor the network by examining statistics data in detail and obtaining/analyzing drive test results. This enables network growth and capacity development, problems in the operation and maintenance unit of the mobile network are resolved quickly. In order for the optimization to be successful, the following are required: Identify and analyze the main causes of call failure,

\* Ibrahim Bahadır Basyigit: Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, ORCID: 0000-0003-4558-5068, [bahadirbasyigit@isparta.edu.tr](mailto:bahadirbasyigit@isparta.edu.tr)

Understanding digital and RF data before a dropped call. Optimization aims to achieve the best network quality by effectively using the spectrum in the network. Once the site is implemented and on-air, its problems are found and corrected to meet the criteria of mobile network quality. So, the optimization process is a continuous and repetitive process to improve the quality of the cellular network. However, while making optimizing in a site, care should be taken not to disrupt the parameters of other sites. In this paper, an optimization study is carried out in Diyarbakir of Turkey for a mobile operator to increase some parameters as Rxlevel, RxQual, Speech Quality Index (SQI) and to solve some problems directly affecting the quality of service (SQI) as cases of being nearly identical of the signal level in many cells, lost of line of sight, sudden appearance and disappearance of neighbor cells, and instantaneous decrease in signal level. As a result, these problems are solved by some cases: Coverage areas of the neighbor cells are decreased by reducing the antenna powers and antenna down tilt angles on the BTSs. A new frequency planning is made by selecting two of the serving cells. The antenna of the sector serving the distressed area at this station is replaced with a higher antenna type with a gain of 3 dB. Also, a signal amplifier called repeater is placed in the tunnel and this unwanted situation is removed.

**Keywords:** Quality of oservice, mobile network, key performance indicators, radio access network, cellular communication.

## 1. Introduction

High data rates and mobility is increased the demand for wireless service. Accordingly, the cellular mobile communication system is undergone an effective development process over the last decade. From first generation (1G) technology to today's LTE, the mobile communication system is made significant changes in the field of communication system. For example, multiple access methods are evolved from frequency-division multiple access (FDMA), time-division multiple access (TDMA) and code-division multiple access (CDMA) to orthogonal frequency-division multiple access (OFDMA) employed by the 4.5G network. Due to these different multiple accesses, the network structure in LTE and future 5G technologies is, however well planned, in no way similar to previous communication networks. There is some low transmission power access points located within the coverage of macros in 5G technologies and beyond. Relays, femtoceles and picoceles are examples of these access points. These structures, also known as a heterogeneous network (HetNet), not only increase system efficiency, but also improve service quality (QoS) [1]. Figure 1 illustrates an overview of the development of mobile and cellular networks. Accordingly, in the future, it is expected to use new frequency, novel network architectures, and antennas running in different methods as well as areas with smaller and more cells.

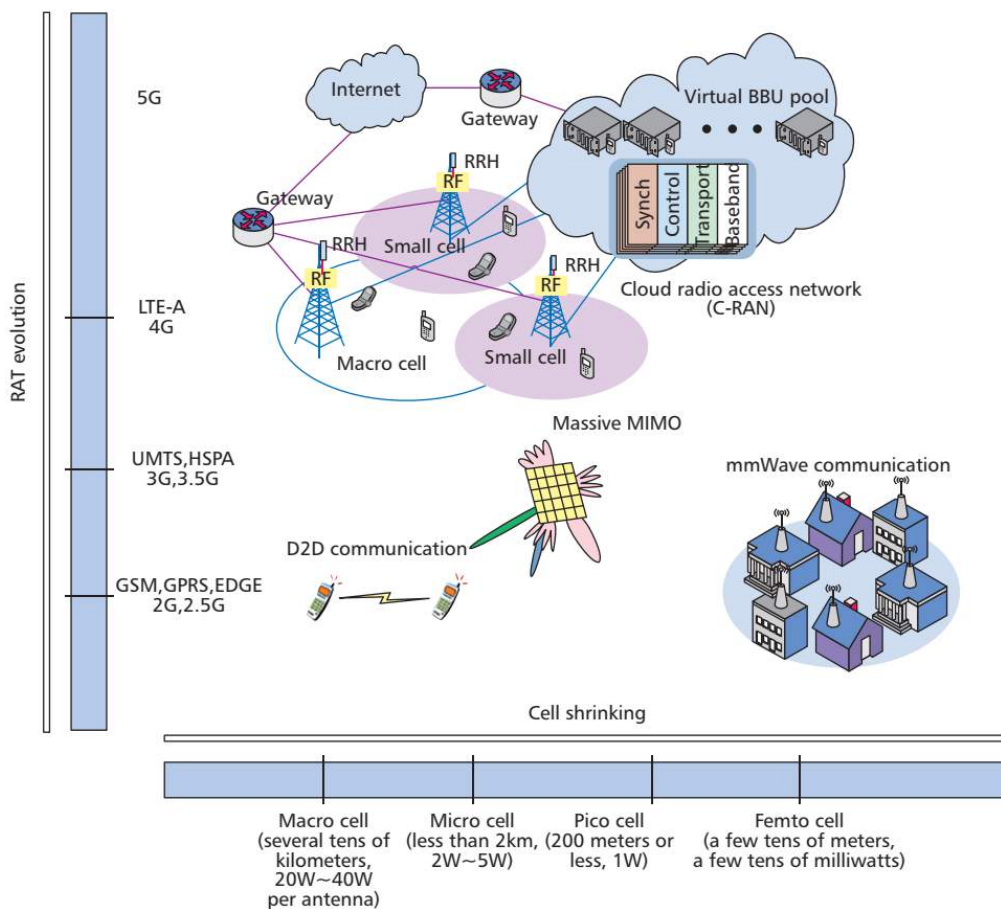


Figure 1. The evolution process of the mobile communication network

The concept of cells emerged in the 1940s. Since then, the main aim of a cellular and mobile system is to increase the coverage area to ensure that the network is high capacity. For this aim, it is important to locate cells in the most appropriate areas during the

planning process. On the other hand, in the optimization process, attention should be paid to determining RF optimization parameters such as antenna height, maximum transmission power, number of sectors and orientation [2]. When selecting cells for RF planning, infrastructure cost calculation is also taken into consideration in addition to network coverage and service capacity [3]. Figure 2 gives the RF cell planning stages in general. In these stages, there are three elements for the analytical approach which are radio network analysis, cell coverage/capacity analysis, and also radio network definition. In the process of radio network definition, RF planning engineers take care to select the most appropriate cell areas to generate optimization parameters. The next step is coverage/capacity analysis that collects factors such as RF interference to achieve optimal resource allocation.

Key performance indicators are one of the measures used to evaluate the services provided by mobile networks. This is accomplished by monitoring the effectiveness of some network impairments. QoS is defined as a set of specific requirements provided by a network necessary to achieve the required functionality of service.

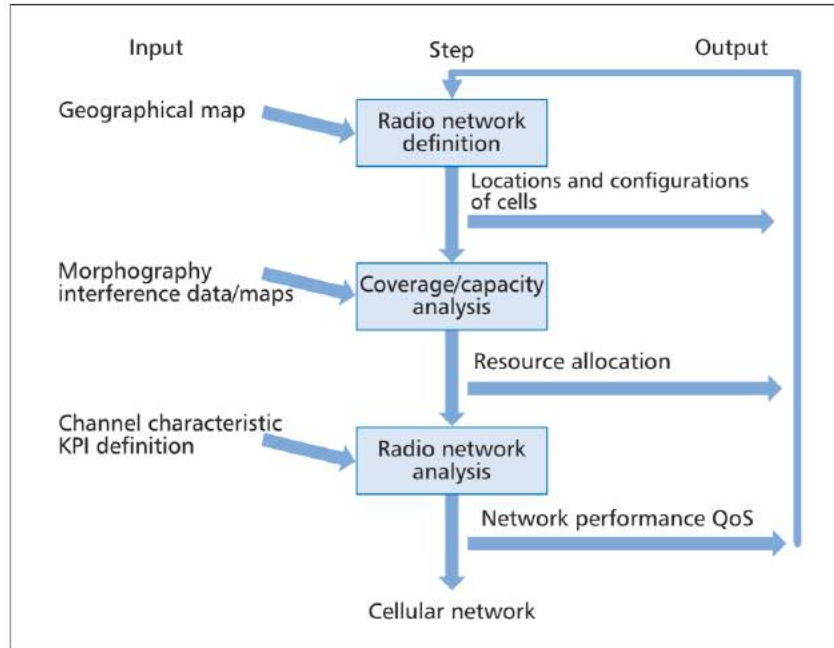


Figure 2. RF cell planning stages

## 2. Wave Propagation in Cellular Communication

The Cellular communication system consists of overlapping cells. The cell is the region covered by a single base station (BTS) antenna system. The BTS antenna may be directional or omni-directional. The coverage using a single BTS with the omni-directional antenna constitutes the omni-directional cell. Coverage using directional antennas creates sector cells and BTS serves each cell [8]. It also controls the A-bis interface. The MS is linked to the BTS by the A-bis interface. MS hinges on one BTS within the cell. It also distinguishes BTSs transmitting at the same frequency with the base station identification code (BSIC). The Base Station Controller (BSS) manages one or more BTSs. The BSC collects measurement reports from MS and BTS [9]. It also performs HO [10], power control and channel assignment in the service area [11].

### 2.1. Attenuation of Signal

A signal radiated from the transmitter undergoes free space loss if it reaches the receiver directly without any obstacles. However, as mentioned before, in real life the receiver and the transmitter are not able to communicate with each other directly. Reflection and diffusion in mobile communication systems are the main mechanisms that cause multipath propagation. Due to the rapid change of the signal transmitted from the transmitter to the receiver, the signal changes both in amplitude and phase to reach the receiver. Such attenuation is called Rayleigh fading [12]. Rayleigh fading is divided into two as multi-path fading and frequency selective fading. Due to the fact that the transmitter signal follows different paths, the time and amplitude difference between the signals reaching the receiver is multipath fading [13]. Frequency selective fading [14] occurs with atmospheric factors. The selective fading of the frequency occurs when the specific frequency of the signal attenuates due to atmospheric factors. In addition, the Doppler shift [15] of the signal at the receiver due to the reflection of the objects in motion is also one of the factors causing the fading of the signal. The signal interference occurs as a result of the interference of the signals of different network elements using the same frequency band. If the cell planning is not done correctly, the signals of the BTSs operating in the same frequency band may interfere and create interference.

### 2.2. Fundamental Values for Power Loss in Cellular Systems

In planning cellular systems, the power requirements of the components of the GSM network are taken into consideration. In this respect, the power threshold values of the components present in the network are of great importance. The power threshold values for

MS vary from mobile vendor to vendor. However, the values used as standard are determined by calculating the signal to noise ratio (Eb/No). The threshold value for MS is -102 dBm and -100 dBm. The same rules apply to BTS as the threshold power value for MS. The threshold power value for BTS is standardized to -106 dBm. The average signal attenuation value must be calculated to determine the power threshold levels for MS and BTS. This value is close to 2 dB. Such losses should include the losses of connectors and cables. Such losses are also considered to be 0.1 dB. The following calculations are made for the uplink and downlink between MS and BTS, and the minimum power levels required for both MS and BTS are determined.

Uplink budget calculations: Path loss for uplink is PLu, EIRPm is the maximum isotropic radiating power of MS, the power received in BTS is Prb, the transmitted power from MS is Ptm, the antenna gain of MS is Gm, the cable losses in MS is Lcm, all other losses is Lom, the antenna gain of BTS is Gb, the cable losses in BTS is Lcb, all the other losses in the BTS is Lob, the sensitivity of BTS is Bs [2]. Uplink budget calculations can be seen in Eq. [5-9] in dB.

$$PLu = EIRPm - Prb \quad (5)$$

$$EIRPm = Ptm + Gm - Losses \quad (6)$$

$$Losses = Lcm + Lom \quad (7)$$

$$Prb = -Gb - Losses + Bs \quad (8)$$

$$Plu = (Ptm - Lcm - Lom + Gm) - (-Gb + Lcb + Lob + Bs) \quad (9)$$

Downlink budget calculations: the path loss of the downlink is PLd, the maximum isotropic radiated power of BTS is EIRPb, the received power of MS is Prm, the transmitted power of BTS is Ptb, the antenna gain of BTS is Gtb, the cable loss of BTS is Lcb, the connector loss of BTS (connector is a device that allows different transmitters operating at different frequencies to radiate from the same antenna) is Lccb [2]. Downlink budget calculations can be seen in Eq. [10-14] in dB.

$$PLd = EIRPb - Prm \quad (10)$$

$$EIRPb = Ptb + Gtb - Losses \quad (11)$$

$$Losses \text{ in BTS} = Lcb + Lccb \quad (12)$$

$$Losses \text{ in MS} = Lcm + Lom \quad (13)$$

$$PLd = EIRPb - Prm = (Ptb + Gtb - Lcb - Lccb) - (Ms - Lcm + Lom + Lob - Gm) \quad (14)$$

### 3. Results

It is important to explain the radio parameters [16] related to this study which can be seen in figures in this section in order to make the determination and analysis in the field measurement more efficiently before the solution to quality problems. RxLev shows the power level of the signal received from the BTS and received by the MS and is between -30 dBm and -110 dBm. A voice quality measured on the basis of a Bit Error Rate (BER). Uplink and downlink radio quality (RxQual) is divided into eight levels. RxQual-0 shows the best quality while RxQual-7 shows the worst quality. When RxQual-4 is exceeded, there is a noticeable decrease in voice quality. The Frame Error Rate (FER) shows the percentage of falling frames due to a large number of uncorrected bit errors in the frame. It is an indication of the voice quality in the network. BER is the ratio of the number of bit errors to the total number of bits transmitted over a given time period and is a parameter for the voice quality in the network. The SQI, which is calculated on the basis of BER, FER and speech code is more complex than other quality parameters that take into account the reflection of the signal, and therefore is the most important parameter in the network quality parameters. C/I is the ratio of signal strength in the serving cell (carrier) to the power of unwanted disturbing signals (interference) and should have a minimum value of 9 dBm as a criterion. Finally, the MS power control level displays the power control range from 0 to 8 depending on the network design.

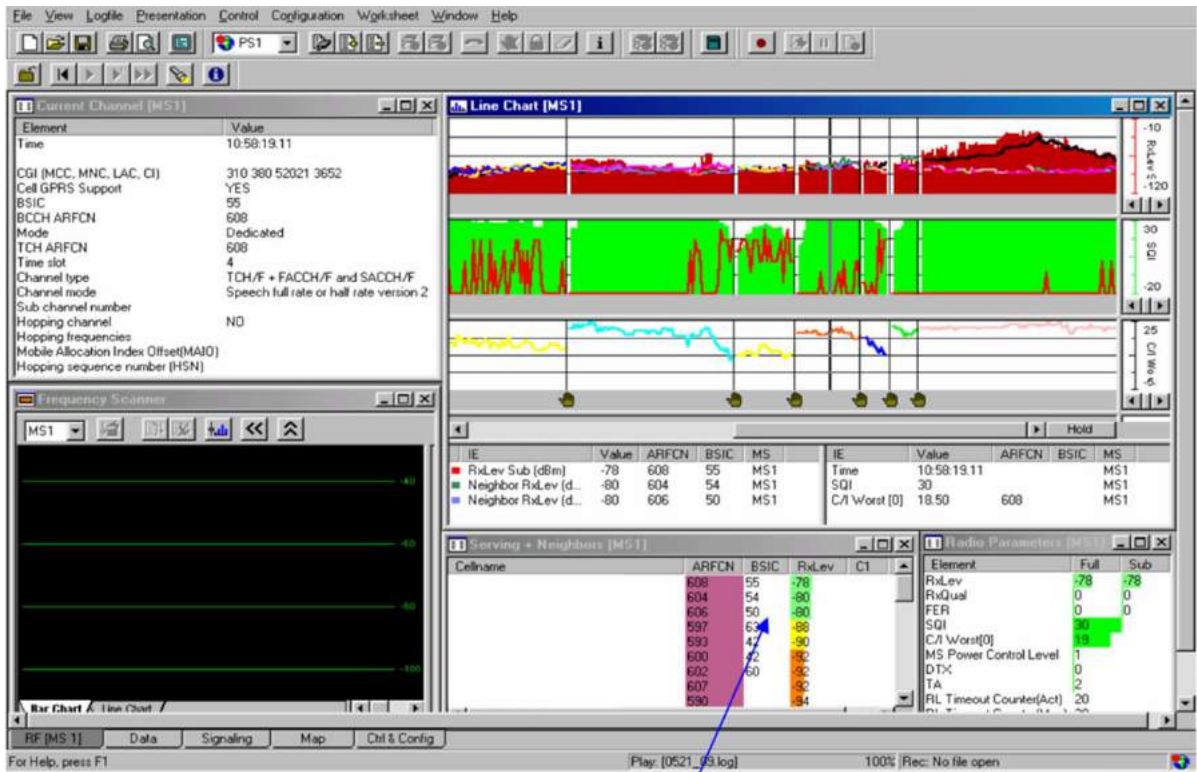
#### 3.1. Signal levels very close to each other

The signal levels (Rx\_level) of the cells are very close to each other as shown in Figure 3. This situation is one of the problems that need to be solved urgently. Coverage areas of the neighbor cells are decreased by reducing the antenna powers and antenna down tilt angles on the BTSs. Thus, the presence of overlapping cells is blocked, and more dominant service delivery is occurred.

#### 3.2. The signal level of many cells is nearly identical

From Figure 4, it is found that there are many overlapping cells during the test. In that, the signal strength of all of the neighbor cells is almost identical. It is important to study on other options first as much as it is possible to build a new BTS here. First, a new frequency planning is made by selecting two of the serving cells. A serving cell with better signal quality between cells whose signal levels are close is obtained. In this way, due to the close signal level, the call drop and the formation of parasites are prevented. In the tests performed later, it is determined that this problem is decreased occasionally compared to the pre-treatment level. Second, this problem is completely solved by adding a third sector to the BTS had two sectors before.





The signal levels of the serving cell and 3-4 neighbors have been very close to each other.

Figure 3. The signal strengths of the cells are very close together

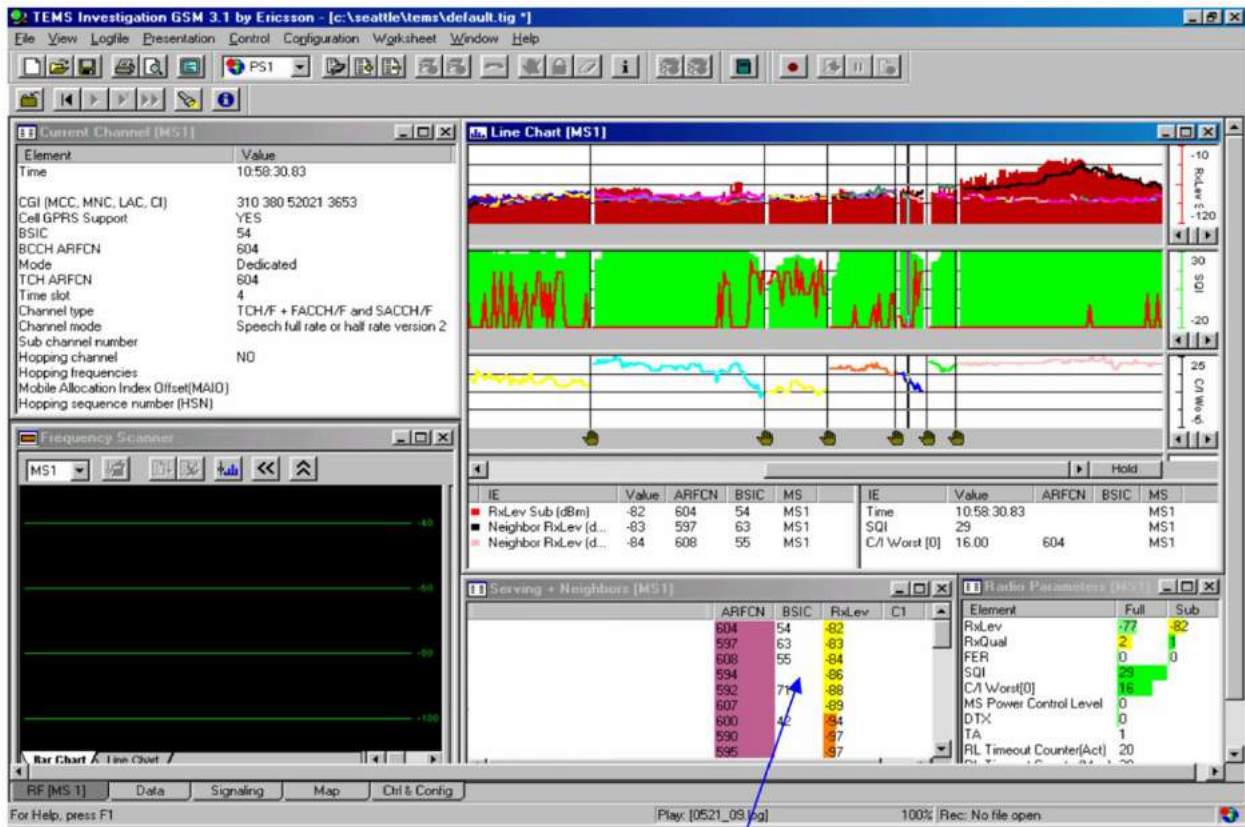


Figure 4. Too many overlapping cell



### 3.3. Lost of line of sight

The signal strength of the serving cell is determined by rapid fall and rise due to the loss of line of sight in Figure 5. When this situation is examined, the signal level is suddenly fallen because the line of sight is been lost due to a high hill at the test point. In this case, the signal quality is got worse due to the decrease of the signal level. Because the location is not a very important and touristic place and the cost of opening a new BTS is high, it is more correct to ignore the problems experienced in such places.

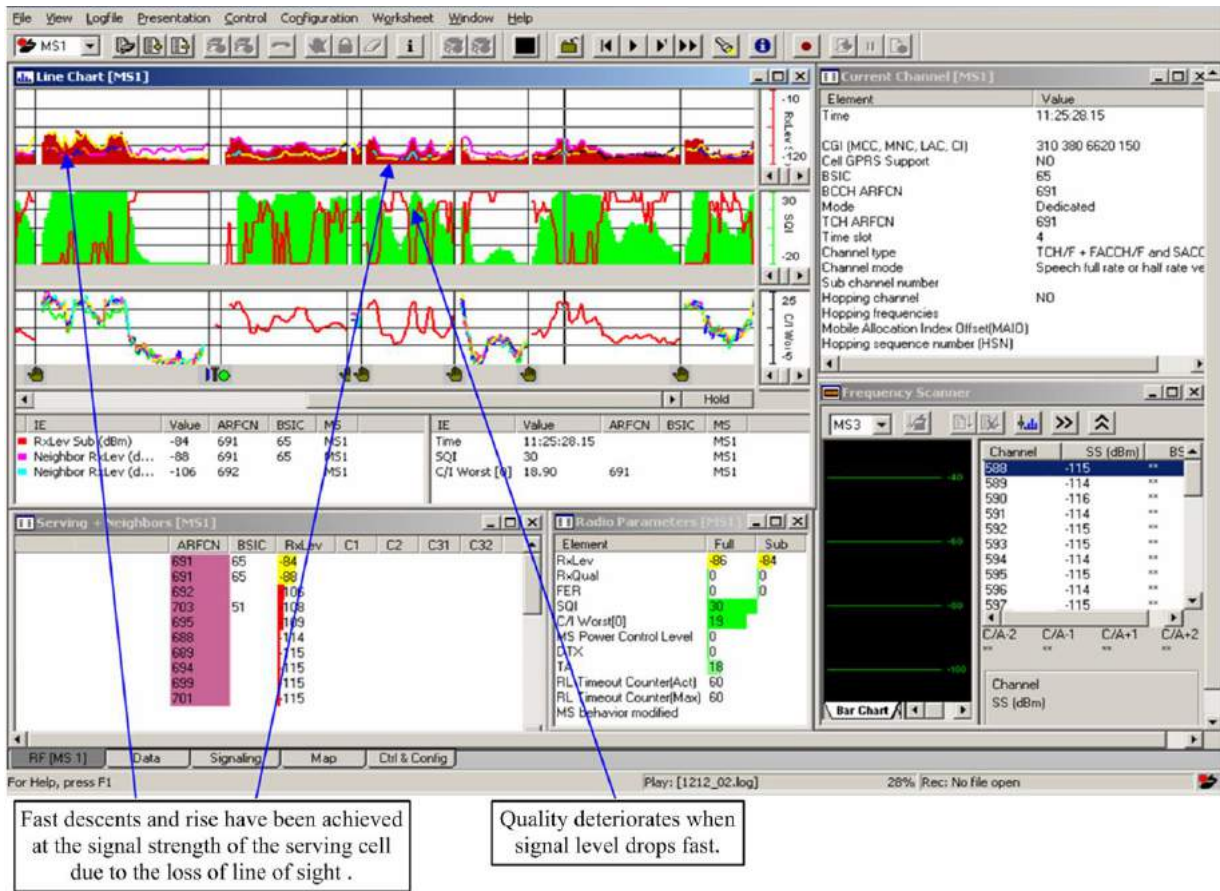


Figure 5. Lost of line of sight

### 3.4. Sudden appearance and disappearance of neighbor cells

It is seen that there are many HO due to the sudden increase and decrease in the signal level of neighbor cells as indicated in Figure 6. Sudden changes in the signal level of neighboring cells due to terrain or obstructions lead BSC to make incorrect HO decisions. In this case, the call undergoes HO to the neighbor cells for a very short time because there is no stable service provider. In order to minimize the effect of this problem, BTS with the best signal level is selected for optimization. The antenna of the sector serving the distressed area at this station is replaced with a higher antenna type with a gain of 3 dB. However, it is important to note that a more careful frequency planning (to reduce interference) is made for the sector facing the region as a higher antenna is used.

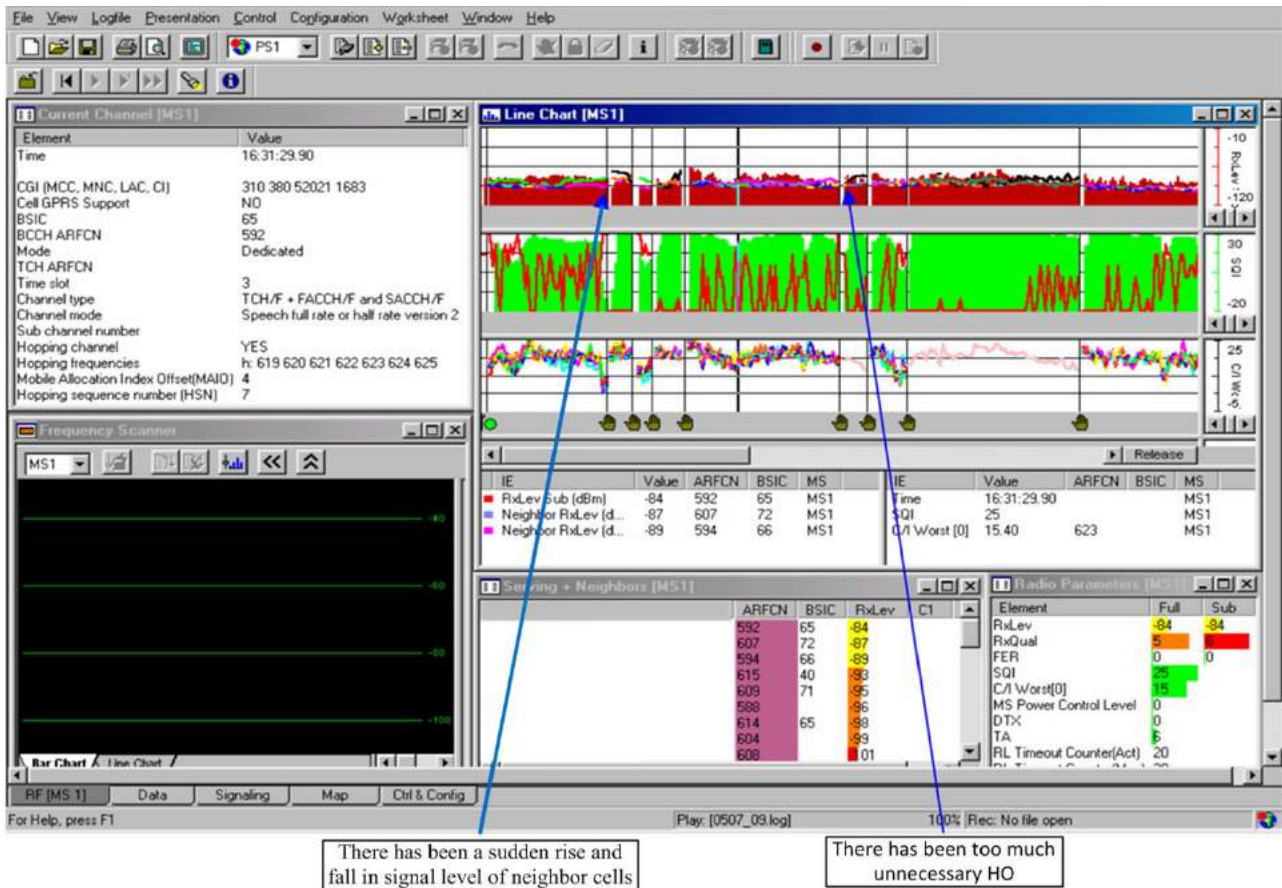


Figure 6. Sudden appearance of neighbors due to land impact

### 3.5. Instantaneous decrease in signal level

It is determined that the signal level of the serving cell decreased and caused many Ping Pong HOs as shown in Figure 7. Before suspecting anything else, it is obtained that there is a tunnel where the problem occurred and where the field test is performed. The signal level in the Figure 7 creates a curve rather than an unbalanced change due to the tunnel effect. In order to eliminate this unwanted situation even though the cost of it is high, a signal amplifier called repeater is placed in the tunnel and this unwanted situation is removed. Repeaters should always be taken into consideration when adding to the network, as repeaters may bring additional interference to the network. As the signal emitted from the repeater is delayed, the repeater may interfere the signal emitted from the BTS antenna. Therefore, there is a danger of getting both original and repeating signals in the same area of the MS. A repeater should not increase the signal levels of frequencies outside the desired frequency band. It should also be noted that the signal level received at the repeater is above -80 dBm (or the desired limits) to be increased and re-transmitted.

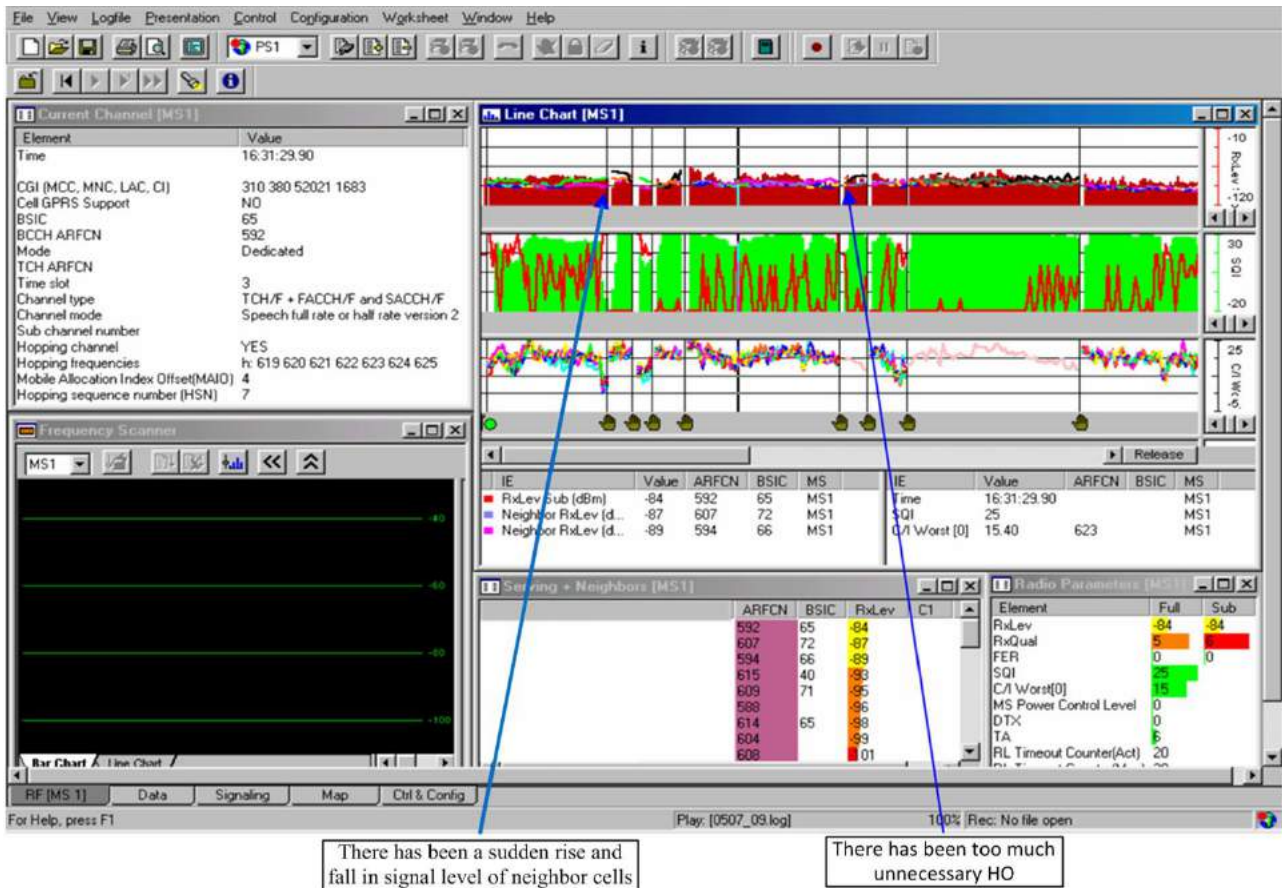


Figure 7. Sudden decrease in signal level due to tunnel effect

#### 4. Conclusion

The QoS for a mobile operator/vendor is targeted in advance of certain criteria. Maximum attention should be paid to increase the quality of the network in terms of both the prestige of the operator and the increase in the number of mobile subscribers. RxQual, SQI, C/I, BER, and FER and MOS are the most important optimization parameters that directly affect network quality. Bad values of these parameters result in call drop, call block, RACH fail, SDCCCH fail, and low MOS values.

It is necessary to eliminate negative situation due to the service quality problems by not only optimizing related parameters but also increasing of coverage area as opening new site, addition of sector, using repeater, site configuration change (antenna height, antenna down tilt, antenna diversity, antenna gain, turning antenna direction), frequency re-planning and BCCH change (for decreasing the co-channel and/or co-adjacent interference) and checking hardware configuration (jumpers, connectors, feeders and etc.)

In this paper, an optimization study is carried out in Diyarbakir, Turkey for a mobile operator to increase some parameters as Rxlevel, RxQual, Speech Quality Index (SQI) and to solve some problems directly effecting the quality of service (SQI) as cases of being nearly identical of the signal level in many cells, lost of line of sight, sudden appearance and disappearance of neighbor cells, and instantaneous decrease in signal level. As a result, these problems are solved by some cases: Coverage areas of the neighbor cells are decreased by reducing the antenna powers and antenna down tilt angles on the BTSs. A new frequency planning is made by selecting two of the serving cells. The antenna of the sector serving the distressed area at this station is replaced with a higher antenna type with a gain of 3 dB. Also, a signal amplifier called repeater is placed in the tunnel and this unwanted situation is removed.

#### Kaynakça

[1] Demestichas, P., Georgakopoulos, A., Karvounas, D., Tsagkaris, K., Stavroulaki, V., Lu, J., & Yao, J. (2013). 5G on the horizon: key challenges for the radio-access network. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 8(3), 47-53.

[2] Tutschku, K. (1998). Demand-based radio network planning of cellular mobile communication systems. In *Proceedings. IEEE INFOCOM'98, the Conference on Computer Communications. Seventeenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Gateway to the 21st Century (Cat. No. 98 (Vol. 3, pp. 1054-1061). IEEE.*

[3] Hurley, S. (2002). Planning effective cellular mobile radio networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 51(2), 243-253.

[4] El-Atty, S. M. A., & Gharseldien, Z. M. (2017). Performance analysis of an advanced heterogeneous mobile network architecture with multiple small cell layers. *Wireless Networks*, 23(4), 1169-1190.

- [5] Švraka, R., Mitić, D., Lebl, A., & Markov, Ž. (2016). Calculating limits of base station emission power in GSM. *Automatika*, 57(3), 774-781.
- [6] Singh, N. P., & Singh, B. (2012). Performance enhancement of cellular network using adaptive soft handover algorithm. *Wireless Personal Communications*, 62(1), 41-53.
- [7] Lebl, A., Mitic, D., Trenkic, B., & Markov, Z. (2018). Determination of base station emission power change in a mobile network cell with movable users. *Radioengineering*, 27(4).
- [8] Ling, R., & Donner, J. (2013). *Mobile communication*. John Wiley & Sons. New York, USA.
- [9] Stüber, G.L. (2017). *Principles of mobile communication*. Springer International Publishing. New York, USA.
- [10] Fazio, P., De Rango, F., & Tropea, M. (2017). Prediction and QoS enhancement in new generation cellular networks with mobile hosts: A survey on different protocols and conventional/unconventional approaches. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 19(3), 1822-1841.
- [11] Kehinde, A. I., Adunola, S. L. F. O., & Isaac, (2017). A. I. GSM Quality of Service Performance in Abuja, Nigeria.
- [12] Zhang, X., & Andrews, J. G. (2015). Downlink cellular network analysis with multi-slope path loss models. *IEEE Transactions on Communications*, 63(5), 1881-1894.
- [13] Han, S. Y., Abu-Ghazaleh, N. B., & Lee, D. (2016). Efficient and consistent path loss model for mobile network simulation. *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)*, 24(3), 1774-1786.
- [14] Kumar, A., & Magarini, M. (2018). Symbol error probability analysis of DFrFT-based OFDM systems with CFO and STO in frequency selective Rayleigh fading channels. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 68(1), 64-81.
- [15] Liu, W., Shen, W., Li, B., & Wang, L. (2018). Toward device-free micro-gesture tracking via accurate acoustic doppler-shift detection. *IEEE Access*, 7, 1084-1094.
- [16] Pous, M., Azpúrua, M. A., & Silva, F. (2015). Measurement and evaluation techniques to estimate the degradation produced by the radiated transients' interference to the GSM system. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 57(6), 1382-1390.





# Çocuk Yoğun Bakım Ünitesine Olan Talebin Zaman Serisi Yöntemleri ile Tahmin Edilmesi

Esra Karakaş<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü, Adana, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8333-3091)

(İlk Geliş Tarihi 25 Eylül 2019 ve Kabul Tarihi 27 Ekim 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.624407)

**ATIF/REFERENCE:** Karakaş, E. (2019). Çocuk Yoğun Bakım Ünitesine Olan Talebin Zaman Serisi Yöntemleri ile Tahmin Edilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 454-462.

## Öz

Çocuk yoğun bakım üniteleri (ÇYBÜ), kesintisiz hizmet sunan, birden fazla organ ve sistem yetersizliğinden kaynaklanan ya da geçirdikleri cerrahi operasyonlar sonrası genel durumları ve bulgularının yakın takip edilmesi gereken 1 ay-18 yaş arası çocukların bakım ve tedavilerinin yapıldığı ünitelerdir. Gelişmiş ülkelerde pediatrik yoğun bakım hizmetlerinin çocuk sağlığına önemli katkıda bulunduğu; etkin pediatrik yoğun bakım hizmeti olmaması durumunda çocuk ölümlerinin artacağı bilinmektedir. Bu nedenle çocuk yoğun bakım ünitelerinde ihtiyaç duyulan miktarda kaynak bulundurulması oldukça önem arz eder. Kaynak planlamasının en iyi şekilde gerçekleştirilmesi ise uygun bir yöntemle elde edilmiş talep tahmini verilerine bağlıdır. Mevcut çalışmada, Adana ilinde yer alan bir hastanenin çocuk yoğun bakım ünitesine 2015- 2018 yılları arasında gelen aylık hasta sayısı verileri dikkate alınarak zaman serisi analizi yapılmış ve uygun talep tahmin yöntemi belirlenmeye çalışılmıştır. Otoresif birleştirilmiş hareketli ortalamalar (ARIMA), hareketli ortama ve üstel düzeltme yöntemleri kullanılarak tahminler elde edilmiş ve bu yöntemlere ait performans ölçütleri hesaplanmıştır. Performans analizleri, Ortalama Mutlak Yüzde Hata (OMYH), Ortalama Mutlak Hata (OMH) ve Hata Karesi Ortalaması (HKO) gibi hata ölçütleri dikkate alınarak yapılmıştır. Bütün yöntemler, kabul edilebilir seviyede hata ölçütleri ortaya koymasına rağmen, mevcut ölçütler ile kıyaslamalar yapılması neticesinde üç aylık hareketli ortalama yönteminin en uygun yöntem olduğu ortaya çıkmıştır. Önerilen tahmin yöntemi ile elde edilen tahmin değerlerinin, ilgili hastanenin çocuk yoğun bakım ünitesi kaynak planlaması için önemli bir girdi oluşturacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Çocuk Yoğun Bakım Ünitesi, Talep Tahmini, ARIMA, Hareketli Ortalamalar, Üstel Düzeltme.

## Estimating Demand for Pediatric Intensive Care Unit by Time Series Methods

### Abstract

Pediatric Intensive Care Units (PICUs) are units that provide uninterrupted service, care and treatment of children between 1 month and 18 years of age due to multiple organ and system deficiencies or whose general conditions and findings should be followed closely after surgical operations. It is known that pediatric intensive care services in developed countries contribute significantly to child health and child mortality will increase if there is no effective pediatric intensive care service. For this reason, it is very important to have the necessary resources in pediatric intensive care units. Optimizing resource planning requires demand forecast data that has been obtained through an appropriate method. In the present study, time series analysis was conducted by considering the monthly number of patients coming to the pediatric intensive care unit of a hospital in Adana between 2015 and 2018 and an appropriate forecasting method was determined. Autoregressive integrated moving average (ARIMA), moving averages and exponential smoothing methods were used.

\* Esra KARAKAŞ: Adana Alparslan Türkeş Bili ve Teknoloji Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü, Adana, Türkiye, ORCID: 0000-0002-8333-3091, [ekarakas@atu.edu.tr](mailto:ekarakas@atu.edu.tr)



Prediction performance were conducted by taking into account Mean Absolute Percentage Error (MAPE), Mean Absolute Error (MAE) and Mean Square Error (MSE). Although all the methods are acceptable, the three-month moving average method was the most suitable method. It is considered that the forecasts obtained by the proposed method would provide an important input for the resource planning of the pediatric intensive care unit of the relevant hospital.

**Keywords:** Pediatric Intensive Care Units, Demand Forecast, ARIMA, Moving Averages, Exponential Smoothing

## 1. Giriş

Talep tahmini, üretim veya hizmet sektörlerinde çıktının (belirli olan bir ürünün ya da hizmetin), gelecek dönemlerde ne miktarda olacağını belirlemek için geçmiş dönem verilerinin düzenlenmesi ve analiz edilmesi sürecidir (Kress&Snyder,1994:175). Bu karar sürecinde kullanılan tahmin teknikleri iki gruba ayrılabilir. Bunlar sayılabilen (kantitatif) ve sayılamayan (kalitatif) tekniklerdir. Sayılabilen tekniklere örnek olarak; zaman serisi analizleri, nedensel ekonometri modelleri, regresyon modelleri ve karma istatistik modelleri verilebilir. Sayılamayan teknikler arasında; tecrübe ve sezgiye dayalı tahminler, geçmişî canlandırma, senaryo yazma, beyin fırtınası bulunmaktadır (Güner, 2014:51). Karar vericiler öncelikle tahmin yapacakları sorunun yapısına en uygun tahminleme tekniğini belirlemelidir (Özdemir, 2006:105).

Sağlık hizmetlerinde talep tahmini farklı ihtiyaçlar için yapılabilir. Tıbbi malzemelerin stok maliyetlerinin kontrolünün sağlanması veya tıbbi malzemeye olan ihtiyacı karşılanabilmesini sağlayacak tedarik için talep tahmininin gerçekleştirilmesi örnek olarak verilebilir. Bu kapsamda Özudoğru ve Görener (2015), İstanbul’da bir hastanede kullanılan temel medikal malzemelerin 2010-2014 yıllarındaki talep verileri ile bir talep tahmini uygulaması yapmışlardır. Yiğit (2016), Süleyman Demirel Üniversitesi Hastanesinin serum seti tüketimini kantitatif tahmin yöntemleri ile analiz etmiş ve en uygun tahmin modelini belirleyerek, gelecek dönemlere ait serum seti tüketiminin tahmini yapmıştır. Bu çalışmaların yanısıra, hastanede farklı birimlere gelecek hastaların tahmin edilerek, gerekli olan yatak, doktor, personel ve diğer donanım ihtiyacının belirlenmesi de hastane yönetimi açısından oldukça önemli bir ihtiyaçtır. Sarıyer (2018), acil servislerde operasyonların daha doğru planlanması, aşırı yoğunluk ile baş etmek için stratejiler geliştirilmesi ve hasta memnuniyetinin artması açısından; talebin en az hata ile tahmin edilmesinin önem arz ettiğini vurgulamıştır. Bu bağlamda, İzmir’de büyük ölçekli bir üçüncü basamak eğitim hastanesinin acil servis talebini zaman serileri analizi kullanılarak tahmin etmiştir.

Yoğun bakım üniteleri, hastanerin oldukça önemli birimlerinden biridir. Çocuk yoğun bakım üniteleri (ÇYBÜ), hayatı tehdit altında olan süt çocuğu, çocuk ve ergenlerin yaşamsal bulgularının izlendiği ve desteklendiği, yoğunlukla multidisipliner tedavi yaklaşımlarının uygulandığı, diğer pediatri kliniklerine göre daha fazla sayıda personel ve donanıma ihtiyaç duyulan özel birimlerdir (Konca, Tekin, Karakoç, Turgut, 2015). Gelişmiş ülkelerde pediatrik yoğun bakım hizmetlerinin çocuk sağlığına önemli katkıda bulunduğu; etkin pediatrik yoğun bakım hizmeti olmasaydı çocuk ölümlerinin iki katına çıkabileceği tahmin edilmektedir. Dolayısıyla çocuk yoğun bakımının, çocuk ölümlülüğünü düşük tutmakta önemli rol oynadığı düşünülmektedir (Çocuk acil tıp ve yoğun bakım derneği, ty.). Bu derece kritik bir sağlık ünitesi için kapasite planlaması yapılırken uygun bir tahmin metodundan elde edilen talep tahminlerinin girdi olarak dikkate alınması, planlamanın daha iyi bir şekilde gerçekleştirilebilmesi açısından oldukça önemlidir.

Bu çalışmadaki amaç, Adana’da büyük ölçekli bir eğitim hastanesinde ÇYBÜ’ne olan talebin uygun zaman serisi metodu kullanılarak tahmin edilmesidir. Çalışmada, hastanenin Ocak 2015 ile Aralık 2018 tarihleri arasında ÇYBÜ’nde tedavi görmüş aylık hasta sayıları verileri dikkate alınmıştır. Zaman serisi yöntemlerinden, hareketli ortalama, üstel düzeltme ve ARIMA modeli yöntemleri test edilmiştir.

## 2. Materyal ve Metod

### 2.1. Materyal

Mevcut çalışmada, Adana ilinde yer alan bir eğitim hastanesinin ÇYBÜ’ne gelen hasta sayıları hareketli ortalama, üstel düzeltme ve uygun ARIMA modeli ile tahmin edilmiştir. Bu amaçla, hastanenin ÇYBÜ’nde tedavi görmüş dört yıllık hasta sayıları kullanılmıştır. Mevcut veriler düzenlenmiş ve Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. 2015-2018 Yılları Arası Aylık Hasta Sayısı

Ay	Yıllar			
	2015	2016	2017	2018
Ocak	82	89	82	91
Şubat	73	69	45	70
Mart	87	79	74	75
Nisan	91	74	64	88
Mayıs	72	90	63	89
Haziran	95	83	68	65
Temmuz	100	77	71	80
Ağustos	97	92	54	75
Eylül	77	56	64	77
Ekim	93	70	77	65
Kasım	61	64	69	92
Aralık	84	62	79	95

## 2.2. Metod

Zaman serisi, ardışık ve eşit aralıklı zamanlarda bir bağımsız değişkenin aldığı değerleri gösteren küme olarak tanımlanabilir. Zaman serileri, tahmini yapılmak istenilen değişkene göre "saat, gün, hafta, ay, üç ay ve yıl" gibi farklı zaman birimleri ile sıralanabilir (Karasu, 2000:85). Zamana bağlı bir değişkenin gelecekte alacağı değer farklı zaman serileri yöntemleri ile belirlenebilmektedir. Çalışma kapsamında zaman serisi yöntemlerinden, üstel düzeltme, hareketli ortalama ve Box-Jenkins yöntemi kullanılmıştır. Kullanılacak yöntemi belirlerken ilk aşamada zaman serisi analizi gerçekleştirilerek zaman serisinde mevcut olan etki ve kalıplar ortaya konmalı, sonrasında seriyi en iyi temsil edecek model belirlenmelidir.

Zaman serisi, sabit bir seviye veya ortalama etrafında dalgalandığında, yatay bir kalıp vardır. Bu tür serinin genel olarak durağan olduğu kabul edilir. Eğer veriler, zaman ilerledikçe artan veya azalan bir görünüm sergiliyorlarsa eğilim etkisinin söz konusu olduğu söylenebilir. Mevcut artış ve azalışlar zamana göre doğrusal olabildiği gibi bazen de doğrusal olmayan bir yapı ortaya koyabilir. Bir zaman serisinde 3 aylık, aylık veya haftalık gibi bir yıl içerisinde özel bir zaman diliminde periyodik olarak artış veya azalışlar meydana geliyorsa, zaman serisinin mevsimsel kalıp sergilediği anlaşılır. Konjonktür dalgalanmalar ise uzun dönemli ve eğilim eğrisi etrafında artış ve azalışlar şeklinde oluşan dalgalanmalardır (Özek, 2000:124). Zaman serilerinin analizi ve kalıpların belirlenmesi için zaman serisi grafiğinden faydalanılabileceği gibi farklı zaman gecikmelerindeki otokorelasyon katsayılarını gösteren grafik (otokorelasyon fonksiyonu) incelenebilir. Otokorelasyon fonksiyonu, bir zaman serisinin çeşitli gecikmeleri için otokorelasyonlarının bir grafiğidir. Aşağıdaki bölümlerde, çalışma kapsamında kullanılan üstel düzeltme, hareketli ortalama ve Box-Jenkins yöntemleri kısaca anlatılmıştır.

### 2.1.1. Hareketli Ortalamalar Yöntemi

Hareketli ortalamalar yöntemi, geçmiş dönemlere ait n adet dönem verisinin ortalamasını, bir sonraki dönemin tahminini elde etmek için kullanır. Hareketli ortalamaya dâhil edilecek gözlem sayısı öngörüü yapacak kişi tarafından belirlenmekte ve sabit kalmaktadır. Hareketli ortalamalar yönteminin amacı, tesadüfi etkenlerin neden olduğu değişimleri bir ölçüde elimine etmektir. Böylece, yönetici dikkatini kaynağı bilinen değişimler üzerine yoğunlaştırarak daha doğru kararlar alabilir (Kobu, 2014: 122, Heizer&Render, 2017: 110). Matematiksel olarak basit hareketli ortalama aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$F_{t+1} = \frac{Y_t + Y_{t-1} + \dots + Y_{t-n+1}}{n} \quad (1)$$

Burada:

$F_{t+1}$ : t+1 dönemindeki tahmin değeri

$Y_t$ : t dönemindeki gerçek değer

n: hareketli ortalamaya dahil edilen gözlem sayısıdır.

Saptanabilir bir eğilim sözkonusu ise, en yeni değerlerin önemini belirtmek ve model içine yansıtılabilmek amacıyla ağırlıklar kullanılabilir (Heizer&Render, 2017: 111). Bu durumda yöntem ağırlıklı hareketli ortalama olarak adlandırılır.

### 2.1.2. Üstel Düzeltme Yöntemi

Üstel düzeltme yöntemi de hareketli ortalama yönteminde olduğu gibi tesadüfi etkenlerin neden olduğu değişimleri elimine etmeyi amaçlamaktadır. Üstel düzeltme yönteminde basit aritmetik ortalama yerine, son gerçek ve tahmini değerlere uygun ağırlıklar verilerek bir çeşit ağırlıklı ortalama alınır. Yöntemi uygulayabilmek için öncelikle sıfır ile bir arasında değişen bir  $\alpha$  katsayısı belirlenir (Kobu, 2014: 124). Talep tahminini gerçekleştirmek için kullanılan birçok paket program, en uygun  $\alpha$  katsayısını belirleyerek işlemi gerçekleştirebilmektedir. Üstel düzeltme yönteminin matematiksel ifadesi Eşitlik (2)'de verilmiştir.

$$F_{t+1} = \alpha Y_t + (1 - \alpha)F_t \quad (2)$$

### 2.1.3. Box-Jenkins Modeli

Box-Jenkins yöntemleri, otoregresif birleştirilmiş hareketli ortalamalar (autoregressive integrated moving average, ARIMA) olarak adlandırılmıştır. Genel olarak ARIMA modeli ile talep tahmini aşamaları aşağıdaki gibi verilebilir (Hanke & Wichern, 2009:400).

- Uygun ARIMA modelini belirlemenin ilk adımı, serinin durağan olup olmadığını belirlemektir (yani zaman serisinin sabit bir seviye ya da ortalama etrafında değişip değişmediğinin) belirlenmesidir. Eğer zaman serisi grafiğinde, verilerin zaman içerisinde bir artış veya azalış eğilimi içerisinde olduğu ve otokorelasyon grafiğinden de otokorelasyon değerlerinin özellikle ilk birkaç zaman gecikmesinde (lag) anlamlı derecede büyük olduğu ve yavaş bir şekilde düşüş gösterdiği gözleniyorsa, zaman serisinin durağan olmadığı söylenir. Seri durağan değilse, verideki durağan olmayan yapının arındırılması amacıyla, serinin ihtiyacına göre bir kaç kere fark alınarak durağanlık sağlanabilir. Fark alma işlemi, zaman serisi grafiğinde eğilimin gözlenmediği veya otokorelasyon değerlerinin oldukça hızlı bir şekilde düşüş gösterdiği durum sağlanıncaya kadar gerçekleştirilir. Durağan olmayan seriler için kullanılan model genel olarak ARIMA (p,d,q) modeli olarak adlandırılır. Burada; d, orijinal seri durağan olmadığı durumda seriyi durağan hale getirebilmek için kaç kere fark alındığını ifade eder. Eğer orijinal seri durağan ise o zaman model, ARMA modeline indirgenir veya ARIMA(p, 0, q) olarak gösterilebilir.
- Durağan bir seri elde edildikten sonra ikinci adım, kullanılacak modelin formunun belirlenmesidir. Diğer bir ifade ile serinin, AR(p) veya MA(q) modellerinden hangisine uyduğunun ortaya konulmasıdır. Bu amaçla, zaman serisine ait otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon grafikleri, çeşitli ARIMA modelleri için geliştirilmiş teorik otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon grafikleri ile kıyaslanır. Bu sayede, tahminde kullanılacak ilk model sezgisel olarak belirlenmiş olur.
- Elde edilen ve tahminin yapılmasında kullanılan ilk modele ait parametrelerin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadıkları test edilir. İstatistiksel olarak anlamlı olan parametreler modelde kalırken, anlamlı bulunmayan parametreler modelden uzaklaştırılır ve model revize edilerek yeniden test edilir.
- Son olarak, model uygunluğunun kontrolü Ljung-Box Q istatistiklerine dayanan ki-kare testi ile sağlanır. Q istatistiğiyle ilişkili p değeri küçükse (örneğin, p değeri < .05) ise model yetersiz kabul edilir. Modelin yetersiz olması durumunda, revize edilerek yeni bir model test edilir.

Box-Jenkins metodolojisine göre tahmin edilen herhangi bir modelin hata terimleri rassal bir dağılıma sahipse o model uygun model olarak kabul edilmektedir. Uygun ARIMA modeli belirlenirken temel amaç en az sayıda parametre içeren en uygun formun belirlenmesidir Genel olarak bir ARIMA(p,d,q) modelinin matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir (Hanke ve Wichern, 2014: 407):

Genel olarak p. ve q. dereceden bir ARMA (p, q) modeli (Hanke ve Wichern, 2014: 407):

$$Y_t = \phi_0 + \phi_1 Y_{t-1} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t - \omega_1 \varepsilon_{t-1} - \omega_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \omega_q \varepsilon_{t-q} \quad (3)$$

Burada:

$Y_t, Y_{t-1}, \dots, Y_{t-p}$  : t, t - 1, t - p zamanlarına ait gözlem değerleri

$\phi_0, \phi_1, \dots, \phi_p$  : tahmin edilen parametre değerleri

$\varepsilon_t$ : t zamanına ait hata terimi

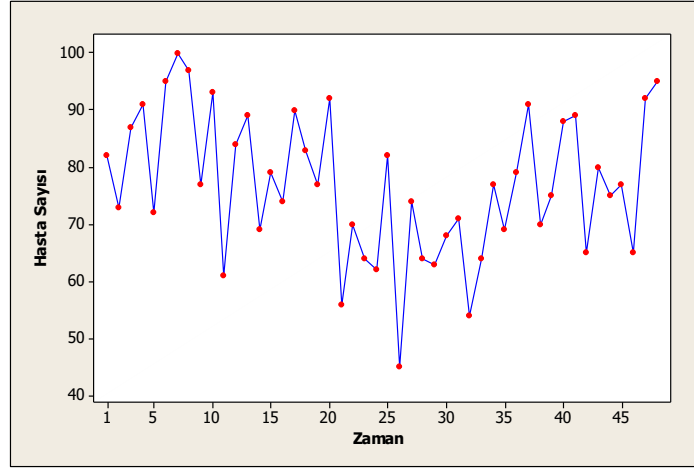
$\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_{t-p}$ : modelin katsayıları olarak ifade edilmektedir.

Serinin durağan olmaması durumunda, ilk olarak serinin durağan hale gelmesi için gerektiği kadar fark alma işlemi yapılır. Bu durumda, ARIMA modelleri ARIMA (p,d,q) ile gösterilir. Bu ifadede "d", serinin durağan hale gelmesi için alınması gereken fark sayısını gösterir. Eğer d, sıfıra eşitse ARIMA (p, 0, q) modeli, ARMA (p, q) modeli aynıdır (Hanke ve Wichern, 2014: 408).

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

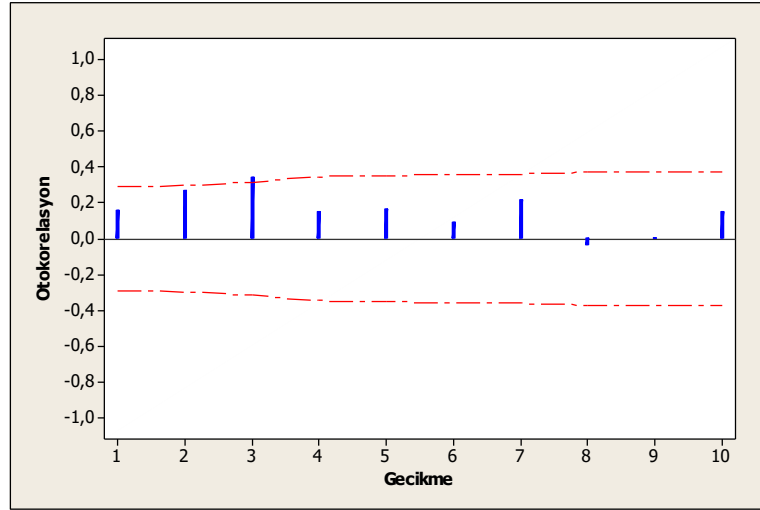
### 3.1. ARIMA Modeli ile Tahmin

Bir önceki bölümde açıklandığı gibi, uygun ARIMA modelinin belirlenmesi için öncelikle zaman serisi analizleri yapılmalıdır. Bu amaçla zaman serisi grafiği ve zaman serisine ait oto korelasyon grafikleri oluşturulmuştur. İlgili grafikler Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3'de verilmiştir.



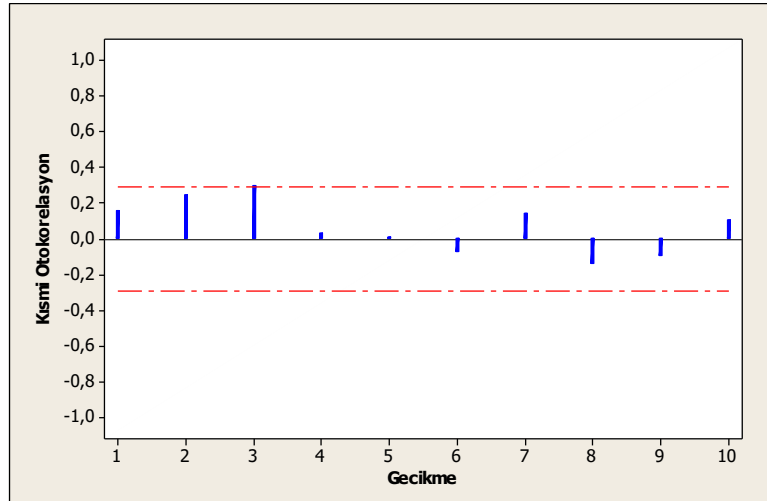
Şekil 1. Hasta sayısı zaman serisi grafiği

Zaman serisi grafiği incelendiğinde, serinin eğilim veya mevsimsellik unsurları taşıdığına dair bir görsel ortaya koymadığı görülmektedir. Ancak daha net değerlendirme yapmak amacıyla zaman serisine ait otokorelasyon grafiğine bakılmalıdır. Otokorelasyon grafiği, %5 anlamlılık sınırı gösterilerek Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Hasta sayısı verilerine ait otokorelasyon grafiği

Eğer veriler eğilim unsuru içeriyorsa ve durağan değilse, otokorelasyon değerlerinin özellikle ilk birkaç zaman gecikmesinde (lag) anlamlı derecede büyük olduğu ve yavaş bir şekilde düşüş gösterdiği gözlenmelidir. Ancak, bu durum Şekil 2’de gözlenmemektedir. Dolayısıyla serinin durağan olduğu söylenebilmektedir. Bu durumda, zaman serinin durağanlaştırılması için fark alınmasına ihtiyaç duyulmayacaktır. Ayrıca otokorelasyon grafiği, mevsimselliğe dair de herhangi bir bulgu ortaya koyamamaktadır. Uygun ARIMA (p, 0, q) formunun belirlenebilmesi amacıyla, seriye ait kısmi otokorelasyon grafiği de incelenmelidir (Şekil 3).



Şekil 3. Hasta sayısı verilerine ait kısmi otokorelasyon grafiği

Kısmi otokorelasyon ile otokorelasyon grafikleri birlikte değerlendirildiklerinde ve teorik otokorelasyon grafikleri incelendiğinde (Hanke&Wichern, 2009:357-359), ARIMA(1,0,1) modelinin uygun olabileceği düşünülmüştür. Modele ait istatistikler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. ARIMA(1,0,1) modeline ait istatistikler

Parametre Tahmin Verileri				
Değişken	Katsayı	Std.Hata	T-ist.	P
AR(1)	0,8938	0,1417	6,31	0,000
MA(1)	0,7115	0,2214	3,21	0,002
Sabit	8,2992	0,5113	16,23	0,000
Ortalama	78,113	4,812		
SS	6476,86			
MS(OHK)	143,93 (DF=45)			
Ljung-Box Ki-Kare İstatistiği				
Gecikme	12	24	36	48
Ki-Kare	9,6	18	33,1	*
DF	9	21	33	*
P-değeri	0,381	0,652	0,462	*

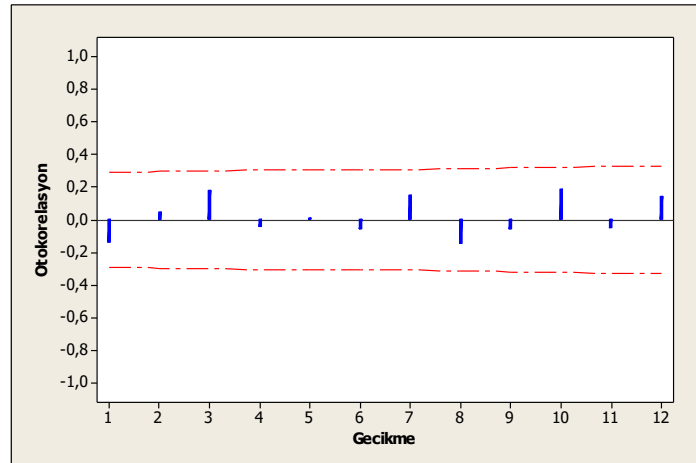
Parametrelerin anlamlılığı analiz edildiğinde, önerilen modeldeki parametrelerin istatistiksel olarak anlamlı olduğu ( $p < 0,05$ ) görülmektedir. Model parametrelerinin anlamlılığı “p” değeri göz önüne alınarak aşağıdaki hipotez ile test edilmektedir:

$$H_0: \rho_1 = 0 \text{ (model parametreleri anlamsızdır)}$$

$$H_1: \rho_1 \neq 0$$

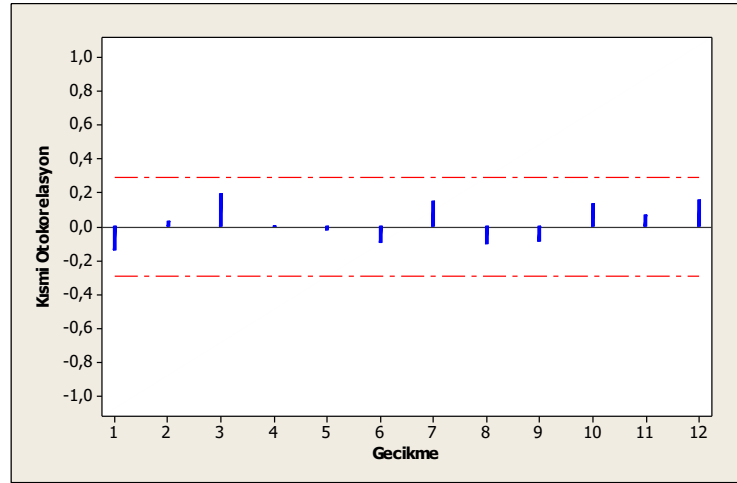
AR(1), MA (1) ve sabit terim için p değerleri, 0,05 değerinden küçüktür. Bu bakımdan,  $H_0$  hipotezi reddedilir. Bu durumda, model parametrelerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu, dolayısıyla modelde kalmaları gerektiği anlaşılır.

Aynı zamanda, Tablo 2’deki “Ljung-Box” test verileri incelendiğinde, farklı eksiltme seviyelerindeki (12, 24, 36) p değerlerinin de 0,05’den büyük olduğu için modelin uygun olduğunu görmekteyiz. Modele ait hata değerlerinin otokorelasyon (Şekil 4) ve kısmi otokorelasyon grafikleri (Şekil 5) de incelendiğinde hata değerlerinin rassal olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4. ARIMA (1,0,1) modelinin hata değerlerine ait otokorelasyon grafiği





Şekil 5. ARIMA (1,0,1) modelinin hata değerlerine ait kısmi otokorelasyon grafiği

Hata değerlerine ait otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon değerleri %5 anlamlılık düzeyleri içerisinde kalmış ve dolayısıyla tüm zaman periyodları için hata değerlerinin limitler arasında kaldığı görülmüştür.

Çocuk yoğun bakım ünitesine gelecek aylarda başvuracak hasta talebi için uygun olan ARIMA(1,0,1) modeli Eşitlik (4)'den faydalanılarak, aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir:

$$Y_{49} = 8,2992 + 0,89438 + 0,5113 - 0,7115\varepsilon_{48} \quad (5)$$

Paket programın çıktıklarına göre 2019 yılının ilk iki ayı için tahmin sonuçları aşağıdaki Tablo 3' de verilmiştir.

Tablo 3. ARIMA(1,0,1) modelinden elde edilen tahmin sonuçları

Periyod	Tahmin	%95 Güvenlik Aralığı	
		Alt limit	Üst limit
49	81,523	58,004	105,042
50	81,161	57,254	105,067

Kurulan model üzerinden 2019 yılının ocak ayı için tahmin yaptığımızda, program ile aynı sonucu elde edildiği görülmektedir.

$$Y_{49} = 8,2992 + 0,8938 * 95 + 0,5113 - 0,7115 * 16,4197$$

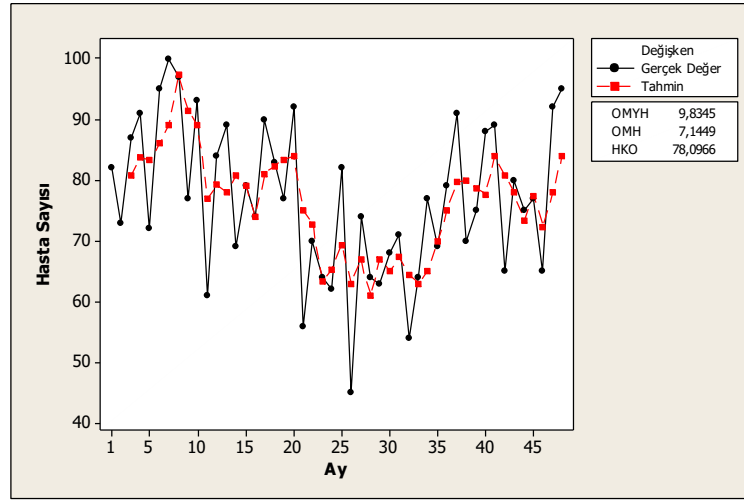
$$Y_{49} = 81,5276$$

Ortalama Mutlak Yüzde Hata (OMYH) değeri modelin doğruluğuna ait bilgi sunan önemli hata ölçütlerinden biridir. Lewis (1982) çalışmasında, OMYH değeri %10'dan düşük olan modelleri “çok iyi”, %10 ile %20 arasında olan modelleri “iyi”, %20 ile %50 arasında olan modelleri “kabul edilebilir” ve %50'nin üzerinde olan modelleri ise “yanlış ve hatalı” olarak nitelendirilmiştir (Karahana, 2015). Önerilen ARIMA modeli için hata değerleri dikkate alınarak hesaplanan OMYH, %13,3 olarak hesaplanmış ve bu nedenle iyi bir tahmin edici olarak kabul edilebileceği görülmüştür.

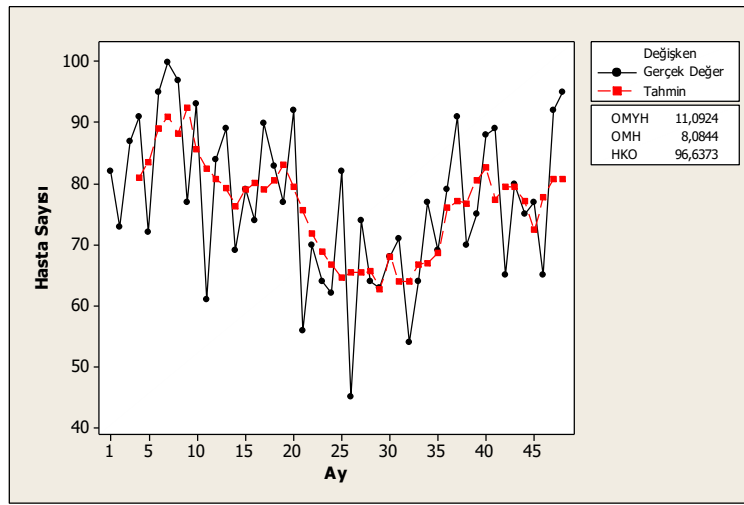
### 3.2. Hareketli Ortalama ve Üstel Düzeltme Yöntemleri ile Tahmin

Bu bölümde, çocuk yoğun bakımda hizmet görecektir hasta sayısı tahmini zaman serisi yöntemlerinden olan üstel düzeltme ve hareketli ortalama yöntemleri kullanılarak elde edilmiştir.

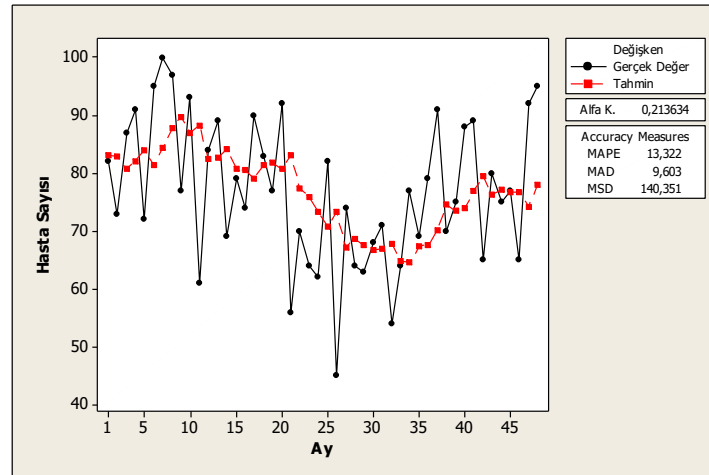
Hareketli ortalama yöntemi uygulanmadan önce, hareketli ortalamadaki dönem sayısının belirlenmesi gerekmektedir. Dönem sayısını belirlenmesinde kesin bir yöntem yoktur. Ancak, makul sayıdaki dönemleri içeren hareketli ortalama sonuçları hata ölçütlerinden biri dikkate alınarak kıyaslanabilir. Mevcut çalışmada, 3 aylık ve 5 aylık hareketli ortalama yöntemleri uygulanmış ve sonuçlar hata ölçütlerine göre kıyaslanmıştır.



Şekil 6. Serinin 3 aylık hareketli ortalama ile tahmini



Şekil 7. Serinin 5 aylık hareketli ortalama ile tahmini



Şekil 8. Serinin üstel düzeltme yöntemi ile tahmini

Çocuk yoğun bakım hasta serisinin tahmini için üç aylık ve beş aylık olmak üzere iki farklı hareketli ortalama tahmini ve alfa katsayısının program tarafından en uygun olarak belirlendiği üstel düzeltme yöntemi uygulanmıştır. Yöntemlere ait grafikler gerçek değerleri ve tahmini değerleri gösterecek şekilde sırasıyla Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir. Mevcut yöntemlerden elde edilen tahminlerin performans ölçütleri Tablo 4' de özetlenmiştir.

Tablo 4. Hareketli ortalama ve üstel düzeltme yöntemleri performans ölçütleri

Yöntem	OMYH	OMH	HKO
Hareketli Ortalama (n=3)	9,83	7,14	78,09
Hareketli Ortalama (n=5)	11,09	8,08	96,64
Üstel Düzeltme	13,32	9,60	140,35

Tablo 4 incelendiğinde, n= 3 alınarak elde edilen tahmin değerlerine ait her üç hata ölçütünün de diğerlerinden daha iyi olduğu görülmektedir. Ayrıca üç aylık hareketli ortalama için elde edilen OMYH değeri, önerilen ARIMA modelinden de daha iyi sonuç vermiştir.

#### 4. Sonuç

Zaman serileri ile ifade edilen geçmiş verilerin istatistiksel teknikler kullanılarak analizi ve uygun tahmin yönteminin belirlenmesi üretim sektöründe olduğu kadar hizmet sektörü açısından da oldukça önemlidir. Özellikle söz konusu olan hastaneler ise kapasite ile ilgili kararlar alınmadan ve planlama aşamasına geçilmeden önce muhakkak uygun bir tahmin yöntemi elde edilmiş talep tahmininin bilinmesi gerekmektedir. Aksi takdirde, kaynağın yetersiz planlanması can kaybı ile sonuçlanabilmektedir.

Mevcut çalışmada, büyük ölçekli bir eğitim hastanesinin ÇYBÜ'sinde 2015-2018 yılları arasında tedavi gören hasta sayısı verileri dikkate alınarak, en uygun talep tahmini yönteminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Zaman serisi incelendiğinde, serinin bir ortalama etrafında dağıldığı ve eğilim ya da mevsimsellik içermediği görülmüştür (Şekil 1). Üç farklı zaman serisi yöntemi seriye uygulanmış ve OMH, HKO, OMYH gibi performans ölçütleri ortaya konmuştur. OMYH değeri %10'dan düşük olan modellerin "çok iyi", %10 ile %20 arasında olan modellerin ise iyi modeller olarak sınıflandırılabilirliği bilinmektedir (Karahan, 2015). Bu durumda, üstel düzeltme ve hareketli ortalama yöntemi mevcut seri için çok iyi, ARIMA modeli ise iyi bir tahmin edicidir. Tahmin hatası ölçütleri yöntemler bazında kıyaslandığında ise, üç aylık hareketli ortalamanın diğer yöntemlere göre daha iyi olduğu görülmüştür.

Bu bulgular ışığında, daha karmaşık modelin her zaman için daha iyi sonuç vereceği anlamına gelmediği görülebilmektedir. Aynı zamanda, ÇYBÜ'de yatan hasta sayısının zaman serileri ile modellenebileceği görülmektedir. Elde edilen tahmin sonuçlarının, yöneticilere kaynak planlama da kullanabilecekleri önemli bir girdi sağlayacağı düşünülmektedir.

#### Kaynakça

Çocuk Acil Tıp ve Yoğun Bakım Derneği, 2006 yılı Pediatrik Yoğun Bakım Raporu, Erişim adresi:

<http://www.cayd.org.tr/gorseller/files/raporlar/%C3%87ocuk%20Yo%C4%9Fun%20Bak%C4%B1m%20Hizmetleri%202006.pdf>

- Güner A., (2014). Bayesci yaklaşımda eşlenik aileleri önseli ile jeffreys önselinin karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Anabilim Dalı.
- Hanke, J.E. & Wichern, D. (2014). *Business Forecasting*. England: Pearson Education.
- Heizer, R. & Render, B. (2017). *Üretim Yönetimi: Sürdürülebilirlik ve Tedarik Zinciri Yönetimi*. Ankara: Palme Yayıncılık.
- Karahan, M., (2015). Yapay Sinir Ağları Metodu ile İhracat Miktarlarının Tahmini: ARIMA ve YSA Metodunun Karşılaştırmalı Analizi, *Ege Akademik Bakış*, 15(2), 165-172.
- Kobu, B.(2014). *Üretim Yönetimi*. Beta, 17. basım.
- Konca, Ç.,Tekin, M., Karakoç, F., Turgut, M. (2015). Çocuk Yoğun Bakım Ünitesinde Yatan 770 Hastanın Değerlendirilmesi: Tek Merkez Deneyimi, *Türkiye Çocuk Hastalıkları Dergisi*, 2, 90-95.
- Kress, J. G. & Snyder J., (1994). *Forecasting and Analysis Techniques*, eBook, May.
- Özdemir, A., Özdemir, A., (2006). Talep Tahminlemede Kullanılan Yöntemlerin Karşılaştırılması: Seramik Ürün Grubu Firma Uygulaması, *Ege Academic Review*, 6(2), 105-114.
- Özudoğru, A. G., Görener, A., (2015), Sağlık Sektöründe Talep Tahmini Üzerine Bir Uygulama, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimleri Dergisi* 14(27), 37-53.
- Sarıyer, G., (2018).Acil Servislerde Talebin Zaman Serileri Modelleri ile Tahmin Edilmesi, *Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fak. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 10( 1).



# Kurutma Koşullarının Elma ve Portakalda Renk Özelliklerine Etkisi

Necati Çetin<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8524-8272)

(İlk Geliş Tarihi 28 Eylül 2019 ve Kabul Tarihi 27 Ekim 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.626203)

**ATIF/REFERENCE:** Çetin, N. (2019). Kurutma Koşullarının Elma ve Portakalda Renk Özelliklerine Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 463-470.

## Öz

Kurutma, tarımsal ürünlerde suyun ürünlerden uzaklaştırılması işlemidir. Kurutma ile ürünün depolama ve muhafaza süresi uzatılmakta, yeni bir ürün pazarı oluşturulmakta ve ürünün pazar payı artırılmaktadır. Tüketiciler kurutulmuş ürünü pazarda renk, şekil, aroma ve görünüşüne göre tercih etmektedir. Bununla birlikte ürünlerin fiziksel özelliklerinin bilinmesi; ürün işleme ve sınıflandırma gibi çalışmalar için önem arz etmektedir. Ürünlerin optimum kurutma süresi, kurutma kalınlığı ve kurutma sıcaklığının sağlanması ürünün kalitesini ve kurutma karakteristiklerini iyileştirmektedir. Bu çalışmanın amacı, farklı kurutma koşullarında kurutulan elma ve portakalın renk özelliklerinin belirlenmesidir. Bu amaçla farklı kalınlıklarda, sürelerde ve sıcaklıklarda kurutulan ürünlerin kurutma öncesi ve sonrası CIELab renk uzayında renk değişimleri belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre renk değerleri açısından en uygun kurutma şartının her iki üründe de 7 mm 8 saat 50°C olduğu tespit edilmiştir. Kurutma süresi ve sıcaklığının renk özelliklerini doğrudan etkilediği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kurutma, optimizasyon, renk, meyve

## Effect of Drying Conditions on Color Properties of Apples and Oranges

### Abstract

Drying is the process of removal of water from agricultural products. Through drying, the storage and preservation time of the product is extended, a new product market is consisted, and the market share of the product is increased. The consumers prefer the dried products according to their color, shape, aroma and appearance. However, some physical properties of fruits should be known for the processing and classification of product. Optimum drying time, thickness and temperature of the products improve the quality and drying characteristics. The aim of this study was to determine the color characteristics of apples and oranges dried under different drying conditions. For this purpose, color changes in CIELab color space were determined before and after drying of the products dried at different thickness, time and temperature values. As a result, the most suitable drying condition in terms of color properties was found to be for 7 mm 8 hours 50°C in both products. It was concluded that drying time and temperature directly affect color properties.

**Keywords:** Drying, optimization, color, fruit

\* Sorumlu Yazar: Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye, ORCID: 0000-0001-8524-8272, [necatichetin1990@gmail.com](mailto:necatichetin1990@gmail.com)

## 1. Giriş

Elma (*Malus communis* L.) dünya çapında muzdan sonra en yaygın üretilen ikinci meyve durumundadır. Çeşitli ekolojik ortamlara uyum sağlama yeteneğine sahip olan elma, geniş bir coğrafi alanda yetiştirilmektedir (Baytekin ve Akça, 2011). Dünyanın yıllık elma üretimi 133 milyon tondur. Yıllık 3 milyon ton üretim yapan Türkiye, Çin, ABD ve Polonya'dan sonra dördüncü sırada yer almaktadır. Türkiye turuncuğil yetiştiriciliğinde, ithalat ve ihracatta önemli bir pazara sahiptir. Dünyada turuncuğil üretiminde Çin, Brezilya, Hindistan ilk üç sırada yer almakta Türkiye ise 135.643 ha'lık alan ve yaklaşık 4,5 milyon ton üretimi ile yedinci sırada bulunmaktadır (FAO, 2016). Türkiye'de Mayıs 2018 itibariyle yatırım teşvik belgesi almış meyve ve sebze kurutma tesislerinin toplam kurulu kapasiteleri 131.893 ton/yıl'a ulaşmıştır. Bununla birlikte Türkiye kurutulmuş sebze ihracatında 9. sırada, kurutulmuş meyve ihracatında ise 2. sırada bulunmaktadır (Anonim 2018a; Anonim 2018b).

Kurutma, bir ısı ve kütle transferi olup materyalin ısınması sırasında bu iki olay aynı anda gerçekleşmektedir. Fakat kurutma aşamalarına göre biri diğerinden daha üstün gelebilmektedir. Bu sayede kuruma hızı kontrol edilmektedir. Kurumayı kontrol eden sistem, kurutulan materyalin özelliklerine, kuruma prosesine ve şartlarına göre değişmektedir (Dinçer ve Şahin, 2004). Gıda işleme endüstrisinde, kurutma genellikle yoğun bir enerji tüketimi oluşturmaktadır. Bu sebeple de yeni kurutma yöntemleri ve kurutma sistemleri araştırılmaktadır. Ürünün besin değeri ve kurutma yönteminin enerji etkinliği açısından farklı kurutma yöntemleri araştırılmıştır (Güngör ve Özbalta, 1997; Kartal Kangaloğlu, 2011). Konvektif kurutma en yaygın kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. Bu yöntemde kurutma havası ürün üzerinde dolaştırılarak üründeki su uzaklaştırılmaktadır. Bu şekilde kuruma süresi kısaltmakta, ürün kalitesi iyileşmekte ve açıkta kurutmaya göre daha hijyenik bir ortam sağlanmaktadır. Ayrıca işlem kontrolü kolay, yatırım ve işletme maliyetleri daha ekonomiktir (Leonid ve ark., 2006; Bondaruk ve ark., 2007; Orikasa ve ark., 2008; Mundada ve ark., 2010; Hiranvarachat ve ark. 2011). Tünel ve kabin tipi kurutma sistemleri sebze ve meyvelerin kurutulmasında en yaygın kullanılan konvektif tip kurutuculardır. Tasarım kolaylığı ve ekonomik sebeplerle genellikle bu tip kurutma sistemleri daha çok tercih edilmektedir (Hastürk Şahin, 2010).

Görünüş, tüketicilerin meyve tercihinde önemli bir parametredir (Costa ve ark., 2011). Günümüzde tüketiciler sebze ve meyve seçerken yüksek kaliteli ürünler talep etmektedir (Leon ve ark., 2006). Renk meyve için en önemli dış faktörlerden birisi olup tüketiciler tarafından genellikle ürünün tazeliğiyle ilişkilendirilmektedir (Campbell ve ark., 2004, Singh ve Reddy 2006). Renk kalitesini sağlayan temel pigmentler, yağda çözünen klorofiller (yeşil), karotenoidler (sarı, turuncu ve kırmızı), suda çözünür antosiyaninler (kırmızı, mavi), flavonoidler (sarı) ve betalainler (kırmızı)'dir (Barrett ve ark. 2010). Ürünlerde renk ölçümü çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Rengi tanımlamak için birçok renk uzayı kullanılmaktadır. CIELab renk uzayı ürünlerin renk ölçümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. CIELab renk uzayının üç koordinatı bulunmaktadır. L\* değeri 0.0 için siyahı, 100.0 için beyazı, a\* değeri negatifse yeşili, pozitifse kırmızıyı ve b\* değeri ise negatifse maviyi, pozitifse sarıyı temsil etmektedir (Fairchild, 2005; Rossel ve ark., 2006; Ernesto ve ark., 2013; Kuş ve ark., 2017). Meyvelerin renk özelliklerini belirlemek amacıyla birçok çalışma yapılmıştır. Araştırmacılar; elma (Kalkisim ve ark., 2008; Liu ve ark., 2016; Cárdenas-Pérez ve ark., 2017; Kuş ve ark., 2017), portakal (Singh ve Reddy, 2006; Manjarres-Pinzon ve ark., 2013), ayva (Ercisli ve ark., 2015), mango (Kang ve ark., 2008), papaya (Udomkun ve ark., 2017), şeftali (Cáceres ve ark., 2016) ve ceviz (Khir ve ark., 2014; Demir, 2018) meyvelerinin renk özelliklerini incelemişlerdir. Bu çalışma ile farklı kurutma şartlarında elma ve portakalın renk özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Renk özelliklerine göre her iki ürün için kabin tipi kurutucuda optimum kurutma koşulları önerilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmanın materyalini "Granny Smith" elma çeşidi ve "Valencia" portakal çeşidi oluşturmaktadır. Portakallar Antalya'da, elmalar ise Kayseri'de iyi tarım uygulamaları yapılan bir bahçeden temin edilmiştir. Ürünlerin boyutları 0.01 hassasiyetli bir dijital kumpas (Mitutoyo Digital LCD Caliper, JP) ile ölçülmüş ve ölçümlerde her parametre için 18'er dilim kullanılmıştır. Meyvelerin ağırlığı, ( $\pm 0.001$  g) dijital bir terazi (Neck Scales, TCS-B, TR) kullanılarak ölçülmüştür. Ürün dilimleme makinesi (HSB 275, TR) ile elmalar değişik kalınlıklarda silindirik olarak kesilmiştir. Ayrıca helisel bir kesici yardımıyla elmaların ortasındaki çekirdekli kısım çıkarılmıştır. Periyodik olarak ürünlerde çap, kalınlık ve ağırlık ölçümü yapılmıştır. Kurutma işlemi üç farklı ürün kalınlığında (5, 7 ve 9 mm), üç farklı sürede (8, 9 ve 10 saat) ve üç farklı sıcaklıkta (50, 55 ve 60°C) gerçekleştirilmiştir. İşlemler 1500 kg kapasiteli tek üniteli kabin tipi kurutucuda (ETHK-20, TR) gerçekleştirilmiştir. Ürünlerin yaş baza göre nem içerikleri aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanmıştır (Yağcıoğlu, 1999):

$$MR(w.b., \%) = \frac{W_w - W_d}{W_w} \times 100 \quad (1)$$

MR: nem içeriği (w.b.%),

W<sub>w</sub>: ürünün yaş ağırlığı (g),

W<sub>d</sub>: ürünün kuru ağırlığı (g).

CIELab renk uzayında L\*, a\* ve b\* renk değerleri bir renk ölçer (Konica Minolta CR-400, JP) ile ölçülmüş ve renk indeksi (CI), ton açısı (h\*) ve kroma (C\*) değerleri hesaplanmıştır (McGuire, 1992):



$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (2)$$

$$h^* = \tan^{-1}(b^* / a^*), \quad (\text{eğer } a^* > 0 \text{ ve } b^* \geq 0) \quad (3)$$

$$h^* = 180 + \tan^{-1}(b^* / a^*), \quad (\text{eğer } a^* < 0 \text{ ve } b^* \geq 0) \quad (4)$$

$$h^* = 180 + \tan^{-1}(b^* / a^*), \quad (\text{eğer } a^* < 0 \text{ ve } b^* < 0) \quad (5)$$

$$h^* = 360 + \tan^{-1}(b^* / a^*), \quad (\text{eğer } a^* > 0 \text{ ve } b^* < 0) \quad (6)$$

$$CI = \frac{1000 \cdot a^*}{L^* b^*} \quad (7)$$

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Kurutma parametreleri ve ürünlerin fiziksel özelliklerinin değişimleri Tablo 1, 2 ve 3'te verilmiştir. Elmaların ortalama ağırlık, dış çap ve iç çap değişimleri incelendiğinde en fazla değişim farkının 5 mm 8 saat 55°C ve 7 mm 10 saat 60°C şartlarında belirlenmiştir. Bununla birlikte ortalama ağırlık ve dış çap değişimlerinde en az farkın olduğu parametre 7 mm 9 saat 55°C olarak karşımıza çıkmaktadır. Portakallarda en fazla ortalama ağırlık değişimi 7 mm 8 saat 50°C şartında meydana gelmiştir. En fazla ortalama çap değişimi ise 9 mm 9 saat 50°C ve 5 mm 9 saat 60°C koşulunda meydana gelmiştir.

Tablo 1. Elmaların kurutma öncesi ve sonrası fiziksel değişimleri

Parametreler	İlk Ağırlık (g)	Son Ağırlık (g)	Fark (g)	İlk Dış Çap (mm)	Son Dış Çap (mm)	Fark (mm)	İlk İç Çap (mm)	Son İç Çap (mm)	Fark (mm)
7 mm 8 saat 50°C	17.40	3.90	13.50	67.36	61.27	6.09	20.78	20.94	0.16
9 mm 9 saat 50°C	22.85	3.90	18.95	71.77	65.50	6.27	20.26	20.35	0.09
5 mm 8 saat 55°C	24.50	3.50	21.00	71.50	62.22	9.28	20.68	23.00	2.32
7 mm 9 saat 55°C	12.90	2.05	10.85	70.73	66.01	4.72	20.38	20.48	0.10
9 mm 10 saat 55°C	16.95	2.80	14.15	67.73	60.37	7.36	20.43	20.71	0.28
5 mm 9 saat 60°C	16.20	2.70	13.50	72.07	66.02	6.05	20.78	20.84	0.06
7 mm 10 saat 60°C	24.70	4.20	20.50	78.65	70.86	7.79	21.17	21.66	0.49

Tablo 2. Portakalların kurutma öncesi ve sonra fiziksel değişimleri

Parametreler	İlk Ağırlık (g)	Son Ağırlık (g)	Fark (g)	İlk Çap (mm)	Son Çap (mm)	Fark (mm)
7 mm 8 saat 50°C	37.65	12.10	25.55	83.10	77.09	6.01
9 mm 9 saat 50°C	36.65	20.40	16.25	78.70	68.89	9.81
5 mm 8 saat 55°C	35.20	18.75	16.45	80.46	73.47	6.99
7 mm 9 saat 55°C	21.95	7.40	14.55	78.12	70.19	7.93
9 mm 10 saat 55°C	30.75	11.15	19.60	75.89	67.32	8.57
5 mm 9 saat 60°C	17.35	2.70	14.65	70.46	60.84	9.62
7 mm 10 saat 60°C	30.05	8.90	21.15	78.82	71.33	7.49

Elmalarda yaş baza göre nem içeriği değerleri %77.59 ile 85.71 arasında değişirken, bu değer portakallarda %44.34 ile 84.44 arasında değişmiştir. Bu durumda denemelerdeki kurutma sıcaklığının özellikle portakal için bazı parametreler için yeterli olmadığını ortaya çıkarmıştır. Bunun sebebi portakalın ilk nem içeriğinin daha fazla olması ve toplamda daha fazla nem ihtiva etmesidir. Elma ve portakalda son kalınlık değerlerinde en dikkat çekici değişimin 9 mm 9 saat 50°C şartında olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 3. Elmalar ve portakalların nem içeriği ve kalınlık değişimleri

Parametreler	Elma		Portakal	
	Nem İçeriği (% w.b.)	Son Kalınlık (mm)	Nem İçeriği (% w.b.)	Son Kalınlık (mm)
7 mm 8 saat 50°C	77.59	2.54	67.86	5.51
9 mm 9 saat 50°C	82.93	2.74	44.34	5.41
5 mm 8 saat 55°C	85.71	4.20	46.73	3.38
7 mm 9 saat 55°C	84.11	2.53	66.29	4.25
9 mm 10 saat 55°C	83.48	4.07	63.74	5.55
5 mm 9 saat 60°C	83.33	2.57	84.44	2.66
7 mm 10 saat 60°C	83.00	3.36	70.38	4.32

Elmalar ve portakalların CIELab uzayında renk değerleri Tablo 4 ve 5'te verilmiştir. Elmalarda kurutma öncesi L\* değerleri 51.07 ile 68.86 arasında değişirken kurutma sonrası bu değer 64.26 ile 79.52 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Bu durumda ürünlerin parlaklık değerinin arttığı tespit edilmiştir. Ürünlerin a\* değerlerinde dikkate değer bir değişim gözlenmezken, b\* değerlerinin artış gösterdiği ve tüm parametrelerde ürünlerin sarılık değerlerinin arttığı saptanmıştır. Portakallarda L\* değerleri incelendiğinde parametreler arasında dalgalanmalar olduğu görülmüştür. Buna ilaveten b\* değerlerinin neredeyse tüm parametrelerde artış gösterdiği ve kurutma sonunda sarılık değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Genel olarak kurutma sıcaklığı artışının ürünün parlaklık değerinin artırdığı belirlenmiştir.

Tablo 4. Elmaların renk değerleri

Parametreler	Kurutma Öncesi			Kurutma Sonrası		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
7 mm 8 saat 50°C	51.07	-3.52	13.13	75.56	-2.11	28,19
9 mm 9 saat 50°C	68.86	-4.77	14.09	64.26	-2.14	22.07
5 mm 8 saat 55°C	53.77	-3.02	16.43	77.07	-2.22	19.31
7 mm 9 saat 55°C	66.76	-3.75	15.95	77.81	-1.57	24.81
9 mm 10 saat 55°C	65.22	-3.17	20.26	79.52	-2.00	23.33
5 mm 9 saat 60°C	55.86	-2.69	14.47	77.75	-0.74	25.91
7 mm 10 saat 60°C	57.62	-2.44	18.30	74.73	-1.68	26.68

Tablo 5. Portakalların renk değerleri

Parametreler	Kurutma Öncesi			Kurutma Sonrası		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
7 mm 8 saat 50°C	47.41	1.62	31.35	41.44	0.88	30.99
9 mm 9 saat 50°C	46.87	1.05	31.12	38.28	1.41	28.57
5 mm 8 saat 55°C	31.96	1.79	20.12	47.01	1.17	34.10
7 mm 9 saat 55°C	26.61	0.88	18.45	47.64	0.47	34.39
9 mm 10 saat 55°C	34.53	1.11	20.59	36.64	0.08	25.37
5 mm 9 saat 60°C	41.61	0.13	25.15	49.88	2.16	33.26
7 mm 10 saat 60°C	36.78	0.54	22.41	49.79	4.82	37.03

Tablo 5 ve 6'da elmalar ve portakalların kroma, ton açısı ve renk indeksi değerleri verilmiştir. Kroma değeri, ürünlerin görünüşünde en etkili faktörlerden birisi olup ürün tercihinde etkili olmaktadır. Kroma değeri ürünlerde rengi tonunu göstermekte olup değerler solgun renklerde düşük, parlak renklerde ise yüksek olmaktadır. Elmalarda en fazla kroma artışı 7 mm 8 saat 50°C şartında, portakallarda ise 5 mm 8 saat 55°C, 7 mm 9 saat 55°C ve 5 mm 9 saat 60°C şartlarında meydana gelmiştir. Kroma değerinin en az değiştiği parametreler elmada; 5 mm 8 saat 55°C, portakalda ise; 7 mm 8 saat 50°C şartı olmuştur. Bununla birlikte her iki üründe de ton açısı ve renk indeksi değerlerinin çok az değişim gösterdiği belirlenmiştir.

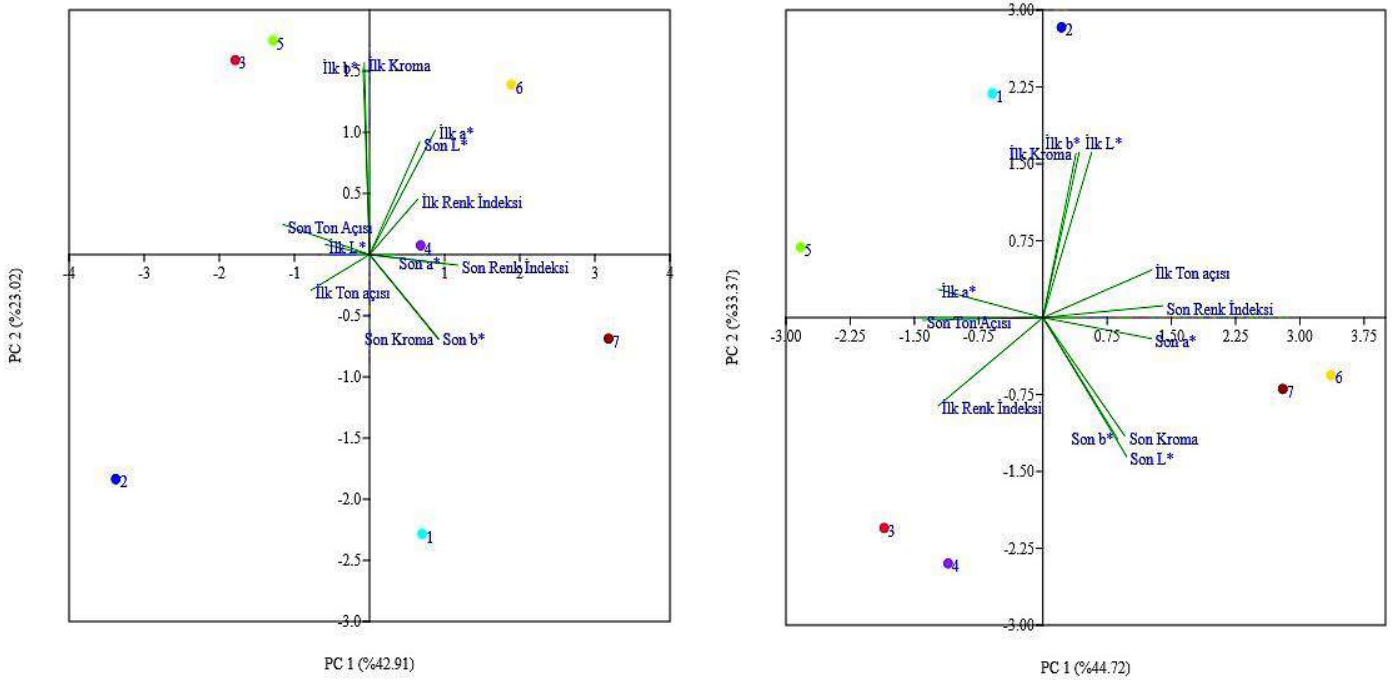
Tablo 6. Elmaların kroma, ton açısı ve renk indeksi değerleri

Parametreler	Kurutma Öncesi			Kurutma Sonrası		
	Kroma	Ton Açısı	Renk İndeksi	Kroma	Ton Açısı	Renk İndeksi
7 mm 8 saat 50°C	13.59	178.69	-5.25	28.27	178.50	-0.99
9 mm 9 saat 50°C	14.87	178.76	-4.91	22.17	178.53	-1.51
5 mm 8 saat 55°C	16.70	178.61	-3.42	19.43	178.54	-1.49
7 mm 9 saat 55°C	16.38	178.66	-2.40	24.86	178.49	-0.81
9 mm 10 saat 55°C	18.45	178.82	-6.05	23.42	178.51	-1.08
5 mm 9 saat 60°C	18.46	178.56	-2.31	26.73	178.49	-0.84
7 mm 10 saat 60°C	14.72	178.61	-3.33	25.92	178.46	-0.37

Tablo 7. Portakalların kroma, ton açısı ve renk indeksi değerleri

Parametreler	Kurutma Öncesi			Kurutma Sonrası		
	Kroma	Ton Açısı	Renk İndeksi	Kroma	Ton Açısı	Renk İndeksi
7 mm 8 saat 50°C	31.39	1.52	1.09	31.00	1.54	0.68
9 mm 9 saat 50°C	31.13	1.54	0.72	28.60	1.52	1.29
5 mm 8 saat 55°C	20.20	1.48	2.78	34.12	1.54	0.73
7 mm 9 saat 55°C	18.47	1.52	1.79	34.39	1.56	0.29
9 mm 10 saat 55°C	20.62	1.52	1.56	25.37	1.57	0.09
5 mm 9 saat 60°C	22.42	1.55	0.66	37.34	1.44	2.61
7 mm 10 saat 60°C	25.15	1.57	0.13	33.33	1.51	1.30

Temel bileşen analizi (PCA) sonuçları Şekil 1’de verilmiştir. Analize göre elma için PC 1 toplam varyansın %42.91’ini, PC 2 %23.02’sini, portakal için PC 1 %44.72’sini ve PC 2 ise %33.37’sini açıklamıştır. Şekilde her bir parametre farklı bir rakam ile ifade edilmiştir. Elma için İlk a\*, son L\* ve ilk renk indeksi değerlerinde 6. Parametre, diğer parametrelerden ayrılmıştır. Portakal için ise 2. parametre ilk kroma, ilk L\* ve ilk b\* değerlerinde diğer parametrelerden ayrılmıştır. Elma da 3. ve 5. parametreler birbiriyle benzerlik gösterirken, portakalda ise 3. ve 4. parametreler ile 6. ve 7. parametreler birbiriyle benzerlik göstermiştir.



Şekil 1. Elma (solda) ve portakalın (sağda) renk özellikleri arasındaki temel bileşenler analizi\*

\*Her bir rakam farklı bir parametreyi temsil etmektedir. (1: 7 mm 8 saat 50°C; 2: 9 mm 9 saat 50°C; 3: 5 mm 8 saat 55°C; 4: 7 mm 9 saat 55°C; 5: 9 mm 10 saat 55°C; 6: 5 mm 9 saat 60°C; 7: 7 mm 10 saat 60°C)

Gao ve ark. (2017), farklı kurutma sıcaklıkları ve zamanlarında kuruttukları elmalarda benzer şekilde L\* değerlerinin 61.59 ile 78.72 arasında, kroma değerlerinin ise 25.31 ile 44.28 arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Buna ilaveten Krokida ve ark. (2001), mikrodalga kurutma sonucunda elma için kroma değerlerinin artış gösterdiğini bildirmişlerdir. Sharifian ve ark. (2013), incir meyvesinin renk özelliklerini ortaya koydukları çalışmalarında, ortalama kroma değeri ve ton açısını sırasıyla 66.90 ve 1.18 olarak belirlemişlerdir. Garau ve ark. (2007), CIELab renk uzayında portakalın kabuk ve posasının farklı sıcaklıklarda (30,40,50,60,70,80 ve 90°C) renk değişimini incelemişlerdir. Posa için L\*, a\* ve b\* değerlerinin sırasıyla 74.85 ile 81.14 arasında, 0.36 ile 3.63 arasında ve 40.42 ile 45.17 arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Manjarres-Pinzon ve ark. (2013), farklı kurutma koşullarında kuruttukları portakalın L

değerlerinin benzer şekilde 35.40 ile 50.50 arasında değiştiğini, b değerlerinin ise 21.40 ile 47.40 arasında değiştiğini saptamışlardır. Guiné (2011), farklı kurutma sistemlerinde kuruttuğu armutun L\* değerlerinin 26 ile 56 arasında değiştiğini, b\* değerlerinin ise 12 civarında olduğunu ortaya koymuştur. Zielinska ve Markowski (2011), kurutmanın ve dehidrasyonun havucun renk özelliklerine etkisini inceledikleri çalışmalarında L\* değerinin 10 farklı koşulda 60 civarında olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca çalışmalarında  $\Delta E^*$ ,  $\Delta C^*$  ve  $\Delta H^*$  değerlerini ortaya koymuşlardır. Çalışmalarda sıcaklık artışıyla ürünün parlaklık değerinin artırdığı belirtilmiştir.

#### 4. Sonuç

Çalışmada ürünlerin kabin tipi kurutucuda farklı kalınlıklarda (5,7 ve 9 mm), sürelerde (8, 9 ve 10 saat) ve sıcaklıklarda (50, 55 ve 60 °C) renk değişimleri incelenmiştir. Renk değerlerine göre optimum kurutma koşullarının her iki üründe de 7 mm 8 saat 50°C olduğu belirlenmiştir. Ayrıca elmada 5 mm 8 saat 55°C, portakalda ise 5 mm 8 saat 55°C ve 7 mm 9 saat 55°C renk değerleri bakımından alternatif kurutma şartları olarak kullanılabilir. Fakat portakalda yaş baza göre nem içeriği değerleri incelendiğinde kurutma süresi ve sıcaklıklarının artırılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Kurutma süresi, ürün kalınlığı ve kurutma sıcaklığının kuruma karakteristiğini doğrudan etkilediği ve optimum kurutma parametrelerinin belirlenmesinin kurutulan ürünün kalitesinde ve bekleme süresinde önemli olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte ürün kalitesinin doğru bir şekilde tanımlanması ve daha hassas bir kurutma işlemi için ürünlerin biyokimyasal özelliklerinin de bilinmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır.

#### Kaynakça

- Anonim (2018a). T.C. Güney Ege Kalkınma Ajansı. <http://geka.gov.tr> Erişim Tarihi: 05.10.2019.
- Anonim (2018b). Türkiye İhracatçılar Meclisi (TİM). <http://www.tim.org.tr/tr> Erişim Tarihi: 05.10.2019.
- Barrett, D. M., Beaulieu, J. C., & Shewfelt, R. (2010). Color, flavor, texture, and nutritional quality of fresh-cut fruits and vegetables: desirable levels, instrumental and sensory measurement, and the effects of processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(5), 369–389
- Baytekin, S., & Akça, Y. (2011). M9 Elma Anacı Üzerine Aşılı Farklı Elma Çeşitlerinin Performanslarının Belirlenmesi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 28:45–51.
- Bondaruk, J., Markowski, M., & Blaszcak, W. (2007). Effect of drying conditions on the quality of vacuum-microwave dried potato cubes. *Journal of Food Engineering*, 81: 306–312.
- Cáceres, D., Díaz, M., Shinya, P., & Infante, R. (2016). Assessment of peach internal flesh browning through colorimetric measures. *Postharvest Biol Tec* 111: 48-52.
- Campbell, B. L., Nelson, R. G., Ebel, C. E., Dozier, W. A., Adrian, J. L., & Hockema, B. R. (2004). Fruit quality characteristics that affect consumer preferences for satsuma mandarins. *HortScience* 39:1664–1666.
- Cárdenas-Pérez, S., Méndez-Méndez, J. V., Chanona-Pérez J. J., Zdunek, A., Güemes-Vera, N., Calderón-Domínguez, G., & Rodríguez-González, F. (2017). Prediction of the nanomechanical properties of apple tissue during its ripening process from its firmness, color and microstructural parameters. *Innov Food Sci Emerg* 39: 79-87.
- Costa, C., Antonucci, F., Pallottino, F., Aguzzi, J., Sun, D., & Menesatti, P. (2011). Shape analysis of agricultural products: a review of recent research advances and potential application to computer vision. *Food and Bioprocess Technology*, 4(5), 673–692.
- Demir, B. (2018). Application of data mining and adaptive neuro-fuzzy structure to predict color parameters of walnuts (*Juglans regia* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 42(3), 216-225.
- Diñçer, İ., & Şahin A. (2004). A New Model for Thermodynamic Analysis of a Drying Process, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, v.47, pp.645-652.
- Ercisli, S., Boydas, M. G., Kalkan, F., Ozturk, I., & Kara, M. (2015). Dimensional, frictional, and color properties of four quince cultivars (*Cydonia oblonga* Miller). *Erwerbs Obstbau* 57:113–118.
- Ernesto, T. H. M., Velázquez, D. M., Contreras, A. J. O., & Meza, A. O. (2013). Prediction of days after anthesis of developing tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit from blossom-end changes in color. *Am J Agric Biol Sci* 8:191–198.
- Fairchild, M. D. (2005). *Color and image appearance models*, 2nd Ed., Wiley-IS&T, Chichester, UK.
- FAO, (2016) FAO web page. [www.fao.org](http://www.fao.org) Accessed 27.09.2019.
- Gao, K., Zhou, L., Bi, J., Yi, J., Wu, X., Zhou, M., ... & Liu, X. (2017). Evaluation of browning ratio in an image analysis of apple slices at different stages of instant controlled pressure drop-assisted hot-air drying (AD-DIC). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(8), 2533-2540.
- Garau, M. C., Simal, S., Rossello, C., & Femenia, A. (2007). Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties of dietary fibre and antioxidant capacity of orange (*Citrus aurantium* v. *Canoneta*) by-products. *Food chemistry*, 104(3), 1014-1024.
- Guiné, R. P. (2011). Influence of drying method on some physical and chemical properties of pears. *International journal of fruit science*, 11(3), 245-255.



- Güngör, A. & Özbalta, N. (1997). Endüstriyel kurutma sistemleri.III.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, Bildiriler Kitabı, II. Cild, pp. 737-747.
- Hastürk-Şahin, F. (2010). Domates Kurutmada Farklı Yöntemlerin Karşılaştırılması. Doktora tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Tekirdağ, 154s.
- Hiranvarachat, B., Devahastin, S., & Chiewchan, N., (2011). Effects of acid pretreatments on some physicochemical properties of carrot undergoing hot air drying. *Food and Bioproducts Processing*, 89: 116-127.
- Kalkisim, O., Ozdes, D., Okcu, Z., Karabulut, B., & Senturk, H. B. (2016) Determination of pomological and morphological characteristics and chemical compositions of local apple varieties grown in Gumushane, Turkey. *Erwerbs Obstbau* 58:41–48.
- Kang, S. P., East, A. R., & Trujillo, F. J. (2008). Colour vision system evaluation of bicolour fruit: A case study with 'B74' mango. *Postharvest Biol Technol* 49:77–85.
- Kartal Kangaloğlu, A.S., (2011). Mikrodalga ve kuru hava yardımıyla kurutma yöntemlerinin meyve pestillerinin kuruma sürelerine etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 72 s.
- Khair, R., Atungulu, G. G., Pan, Z., Thompson, J. F., & Zheng, X. (2014). Moisture-dependent color characteristics of walnuts. *Int J Food Prop* 17: 877-890.
- Krokida, M. K., Maroulis, Z. B., & Saravacos, G. D. (2001). The effect of the method of drying on the colour of dehydrated products. *International Journal of Food Science & Technology* 36(1): 53–59.
- Kuş, Z. A., Demir, B., Eski, I., Gurbuz, F., & Ercisli, S. (2017). Estimation of the colour properties of apples varieties using neural network. *Erwerbs-Obstbau*, 59(4), 291-299.
- Leon, K., Mery, D., Pedreschi, F., & Leon, J. (2006). Color measurement in L\* a\* b\* units from RGB digital images. *Food Research International*, 39(10), 1084–1091.
- Leonid, A. B., Vladimir, P. G., Andrew, V. B., Alexander, M. L., Valeriy, L., & Vladimir, A. K. (2006). The investigation of low temperature vacuum drying processes of agricultural materials. *Journal of Food Engineering*, 74: 410-415.
- Liu, X., Zhao, D., Jia, W., Ruan, C., Tang, S., Shen, T. (2016). A method of segmenting apples at night based on color and position information. *Comput Electron Agric* 122:118–123.
- Manjarres-Pinzon, K., Cortes-Rodriguez, M., & Rodríguez-Sandoval, E. (2013). Effect of drying conditions on the physical properties of impregnated orange peel. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 30(3), 667-676.
- Mcguire, R. G. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27: 1254-1255.
- Mundada, M., Hathan, B.S., & Maske, S., (2010). Convective dehydration kinetics of osmotically pretreated pomegranate arils. *Biosystems Engineering*, 107: 307-316.
- Orikasa, T., Wu, L., Shiina, T., & Tagawa, A., (2008). Drying characteristics of kiwifruit during hot air drying. *Journal of Food Engineering*, 85: 303-308.
- Rossel, R. V., Minasny, B., Roudier, P., & McBratney, A.B. (2006). Colour space models for soil science. *Geoderma* 133:320–337.
- Sharifian, F., Modarres-Motlagh, A., Komarizade, M. H., & Nikbakht, A. M. (2013). Colour change analysis of fig fruit during microwave drying. *International journal of food engineering*, 9(1), 107-114.
- Singh, K. K., Reddy, B.S. (2006). Post-harvest physico-mechanical properties of orange peel and fruit. *J Food Eng* 73:112–120.
- Udomkun, P., Nagle, M., Argyropoulos, D., Wiredu, A. N., Mahayothee, B., & Müller, J. (2017). Computer vision coupled with laser backscattering for non-destructive colour evaluation of papaya during drying. *J Food Meas Charact* 11: 2142-2150.
- Yağcıoğlu, A. (1999). Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği. EÜZF Yayınlar, No: 536.
- Zielinska, M., & Markowski, M. (2012). Color characteristics of carrots: effect of drying and rehydration. *International Journal of Food Properties*, 15(2), 450-466.



## Nişasta Nanokristali Üretimi ve Karakterizasyonu

Ayşe Korkut<sup>1</sup>, Kevser Kahraman<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Abdullah Gül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İleri Malzemeler ve Nanoteknoloji Anabilim Dalı, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8823-2089)

<sup>2\*</sup>Abdullah Gül Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2786-3944)

(İlk Geliş Tarihi 28 Eylül 2019 ve Kabul Tarihi 27 Ekim 2019)

(DOI:10.31590/ejosat.626229)

**ATIF/REFERENCE:** Korkut, A., & Kahraman, K. (2019). Nişasta Nanokristali Üretimi ve Karakterizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 471-476.

### Öz

Bu çalışmada nano malzeme üretimi konusunda doğal ve yenilenebilir bir kaynak olarak son yıllarda oldukça ilgi çeken bir hammadde olan nişastadan yüksek kristaliniteye sahip nanokristal üretimi hedeflenmiştir. Bu amaçla buğday nişastası farklı oranlarda H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1:2 ve 1:4 nişasta:asit) ile beş gün boyunca 50°C sıcaklıkta hidroliz edilmiştir. Hidroliz sonrasında örnekler diyalize tabi tutularak safsızlıklar giderilmiş, liyofilize edilerek kurutulmuştur. Elde edilen nişasta nanokristalleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak boyut; X-ışını kırınım Spektroskopisi (XRD) kullanılarak yapı ve kristalinite; Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometresi (FT-IR) kullanılarak yapı açısından karakterize edilmiştir. Doğal haldeki buğday nişastası da aynı şekilde karakterize edilmiş ve hidroliz işleminin yapı, boyut ve kristalinite üzerine etkisi incelenmiştir.

SEM görüntüleri incelendiğinde buğday nişastasının boyutlarının 5-10 µm arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Asit hidrolizi sonucunda ise nişasta boyutunun oldukça azaldığı ve 50 nm'nin altına düştüğü gözlenmiştir. Doğal haldeki buğday nişastası birbirinden bağımsız granüller halinde iken nişasta nanokristalleri kümeleşmiş halde görüntülenmiştir. XRD desenleri incelendiğinde asit hidrolizi ile elde edilen nişasta nanokristallerin buğdayın tipik X-ışını kırınım deseni olan A-tipi X-ışını kırınım desenini verdiği gözlenmiştir. X-ışını kırınım desenleri yapı açısından incelendiğinde işlem görmemiş doğal haldeki buğday nişastası ile nişasta nanokristallerin arasında fark görülmesi de, bu örneklerin kristalinite indeks değerlerinin farklı olduğu belirlenmiştir. Doğal haldeki buğday nişastasının kristalinite indeks değeri %42,2 olarak belirlenmişken, asit hidrolizi ile üretilen nişasta nanokristallerinin kristalinite indeks değerleri daha yüksek bulunmuştur. Düşük oranda asit kullanılarak üretilen nişasta nanokristalinin (1:2) kristalinite indeks değeri %57,3 iken daha yüksek oranda kullanılarak üretilen nişasta nanokristalinin (1:4) kristalinite indeks değeri %68,5 olarak belirlenmiştir. FT-IR sonuçlarına göre ise nişasta nanokristallerin doğal buğday nişastası ile aynı yapıya sahip olduğu gözlemlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Buğday nişastası, nişasta nanokristali, kristalinite, XRD, SEM, FT-IR

## Production and Characterization of Starch Nanocrystal

### Abstract

In this study, it is aimed to produce high crystallinity nanocrystals from starch which is a very interesting raw material in recent years as a natural and renewable resource in nano material production. For this purpose wheat starch was acid hydrolyzed using different amount of acid (starch:H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ratio; 1:2 and 1:4) at 50°C temperature for 5 days. After hydrolysis, samples were dialyzed to remove impurities and freeze-dried. Native wheat starch and nanocrystals were characterized by using scanning electron microscope (SEM); X-Ray diffraction spectroscopy (XRD) and Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR) in terms of size, crystallinity and structure, respectively. Native wheat starch was also characterized as control and the effect of hydrolysis on size, crystallinity and structure.

According to SEM images, it can be observed that the size of native wheat starch varied between 5-10 µm. It was observed that the size of starch granule decreased considerably as a result of acid hydrolysis. The size of wheat starch granule decreased below the 50

\*Sorumlu Yazar: Abdullah Gül Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği, Kayseri, Türkiye, ORCID: 0000-0002-2786-3944, [kevser.kahraman@agu.edu.tr](mailto:kevser.kahraman@agu.edu.tr)

nm due to the hydrolysis procedure. While native starch granules were observed as independent granules, starch nanocrystals located as aggregates. According to the XRD patterns, it was observed that the starch nanocrystals obtained by acid hydrolysis gave the A-type X-ray diffraction pattern, which is the typical X-ray diffraction pattern of wheat. While there was no difference between X-ray diffraction patterns between native wheat starch and starch nanocrystals in terms of structure, there was a considerable difference between crystallinity index values of these samples. The starch nanocrystals produced by acid hydrolysis had higher crystallinity index values when compared with its corresponding which had 42.2% crystallinity. The crystallinity index value of starch nanocrystals produced by using low acid ratio (1:2) was 57.3%, whereas the crystallinity index value of starch nanocrystalline produced by using higher acid ratio (1:4) was determined as 68.5%. According to FT-IR results, it was observed that starch nanocrystals have the same structure as native wheat starch.

**Keywords:** Wheat starch, starch nanocrystals, crystallinity, XRD, SEM, FT-IR

## 1. Giriş

Fosil enerji kaynaklarının tükenmesi ve artan çevresel kaygılar birçok alanda yenilenebilir ve sürdürülebilir petrol dışı kaynaklardan üretilmiş ürünlere olan talebi arttırmıştır. Bu durum yenilikçi ve verimli malzemelerin gelişmesine olanak sağlayan nanoteknoloji ile çevre dostu hammaddelerin kullanımına olanak sağlayan biyomalzeme üretimi gibi iki alanın biraraya gelmesine öncü olmuştur. Nanoteknoloji günümüzde bilişim, güvenlik, tıp, kozmetik, enerji, tekstil, çevre ve gıda gibi pek çok sektörde uygulama alanı bulan ve endüstriyel anlamda ürün iyileştirmesine yönelik Ar-Ge çalışmalarında kullanılan bir alandır. Doğada yaygın olarak bulunan, yenilenebilir, biyobozunur ve toksik olmayan bir materyal olan nişasta, nanomalzeme üretimi konusunda son yıllarda oldukça ilgi çekmektedir. Nişasta polimeri, asit hidrolizi, enzimatik hidroliz, yüksek basınç homojenizasyonu, ultrasonikasyon, reaktif ekstrüzyon, gamma irradyasyon ve nanopresipitasyon gibi yöntemler kullanılarak nanoboyuta indirgenmektedir (Hélène Angellier vd., 2004; Kim, Park ve Lim, 2015; Liu vd., 2009; Sun vd., 2014).

Nişasta, doğada yaygın olarak bulunan ve bitkilerin fotosentez yoluyla elde ettikleri enerjiyi depolamak için sentezledikleri bir biyopolimerdir. Birçok gıda maddesinin de temel bileşeni olan nişasta, insan beslenmesinde büyük bir önem taşımasının yanı sıra gıdaların fiziksel özellikleri (jel oluşturma, kıvam verme, su tutma, vb.) üzerindeki etkisi nedeniyle de oldukça önemlidir. Nişasta  $\alpha$ -D-glukoz birimlerinin polimerleşmesinden oluşan bir polisakkarittir ve kimyasal yapısında lineer bir polimer olan amiloz ve dallanmış bir polimer olan amilopektin bulunmaktadır (Šárka ve Dvořáček, 2017).

Nişasta kaynağı ve amiloz içeriğinin, nişasta nanokristallerin morfolojisi üzerine olan etkisinin incelendiği bir çalışmada, normal amiloz içerikli mısır nişastası, yüksek amiloz içerikli mısır nişastası, mumsu (%100 amilopektin) mısır nişastası, patates ve buğday nişastası kullanılarak nişasta nanokristalleri üretilmiştir. Nişastanın kaynağı, nanokristallerin boyutları üzerinde önemli bir etki göstermezken nanokristallerin şekil ve kristaliniteleri açısından farklılığa neden olmuştur. (Lecorre, Bras ve Dufresne, 2012). Nanokristal üretim metodu da nanokristallerin şekil ve boyutları üzerinde farklılığa sebep olan bir diğer etkidir (Dai vd., 2018). Mumsu mısır nişastası kullanılarak yapılan çeşitli çalışmalarda farklı boyutlarda nanokristaller elde edilmiştir. Mumsu mısır nişastası kullanıldığında 20-40 nm (Putaux vd. 2003), <40 nm (Kim, Park ve Kim 2017) , 70- 100 nm (Namazi ve Dadkhah, 2010) ve 50-130 nm (Romdhane vd. 2015) boyut aralığında nişasta nanokristaller elde edilmiştir.

Nişasta nanokristallerinin geniş yüzey alanına sahip olmaları ve yapılarında bulunan hidroksil gruplarının oldukça reaktif olması nedeniyle kompozit bileşeni, emülsiyon stabilizatörü, yağ ikame edicisi, ambalaj materyali, ilaç taşıyıcısı, atıksu arıtımında adsorber, kağıt üretiminde bağlayıcı olarak kullanımı ile ilgili birçok alanda uygulamaya sahiptir (Kim, Park ve Lim, 2015; Dai, Zhang ve Cheng, 2019). Doğal ve yenilenebilir bir kaynak olan nişastanın nano malzeme üretimi konusunda son yıllarda ilgi çeken bir materyal olması nedeniyle, bu çalışmada buğday nişastası kullanılarak yüksek kristaliniteye sahip nanokristal üretimi hedeflenmiştir. Bu amaçla buğday nişastası nişasta:asit oranı farklı olacak şekilde  $H_2SO_4$  ile muamele edilerek nanokristal üretilmiştir. Üretilen nanokristaller boyut (taramalı elektron mikroskobu, SEM), kristalinite ve yapı (X-Işım Kırınım Spektroskopisi, XRD) ve yapı (Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometresi, FT-IR) açısından karakterize edilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Buğday nişastası MGP Ing. (ABD)'den temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan tüm kimyasallar analitik saflıktadır.

### 2.2. Nişasta Nanokristallerinin Üretimi

Nişasta nanokristallerinin üretimi asit hidrolizi yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla literatürde Xu vd. (2010)'nin belirttiği yöntem kullanılmıştır. Bu kapsamda 20 g buğday nişastası 1:2 (g/ml) ve 1:4 (g/ml) oranlarında  $H_2SO_4$  (3,16 M, Sigma, ABD) ile karıştırılmıştır. Hidroliz işlemi 50°C sabit sıcaklıkta 5 gün boyunca sürekli karıştırılarak (Heidolph, Almanya, 300 rpm) gerçekleştirilmiştir. Süre sonunda karışım NaOH (5M, Merck, Almanya) ile nötralize edilerek hidroliz sonlandırılmıştır. Nötralize edilen süspansiyon 5.000 rpm hızda 10 dakika süre ile santrifüj edilerek (Hettich Rotina 380R, Almanya) oluşan çökelti süpernatanttan ayrılmıştır. İçerisinde nişasta nanopartikülleriyle birlikte asit kalıntıları ve tuz gibi maddelerde bulunan çökelti,

saflaştırılmak amacı ile diyaliz işlemine tabi tutulmuştur. Diyaliz işlemi oda sıcaklığında 3 gün uygulanmıştır (3.500Da, Thermo Scientific, ABD). Diyaliz işleminin ardından örnekler liyofilize edilerek kurutulmuştur.

## 2.3. Nişasta Nanopartiküllerin Karakterizasyonu

### 2.3.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Karakterizasyon

Nişasta nanopartiküllerinin ve işlem görmemiş buğday nişastasının yüzey morfolojisi, yapısal karakterizasyonu ve boyut ile ilgili bilgi almak için Xie vd. (2016)'nin belirttiği gibi taramalı elektron mikroskobu (SEM, Zeiss Leo 440, Almanya) kullanılmıştır. SEM analizi ile örneklerin boyutları ve yapısında meydana gelen değişimler incelenmiştir. Örnekler 105°C'de 24 saat kurutulduktan sonra, ölçüm öncesi vakumlu püskürtmeli kaplayıcı kullanılarak altın ile kaplanmıştır. Karakterizasyonu yapılacak örneklerin ölçümü 3 kV altında yapılmıştır.

### 2.3.2. X-Işını Kırınım Spektroskopisi ile Karakterizasyon

Nişasta nanopartiküllerinin ve işlem görmemiş buğday nişastasının kristal yapıları X-Işını kırınım spektroskopisi (Bruker AXS D8 advance model, Almanya) kullanılarak, Xie vd. (2016)'nin belirttiği yöntemle incelenmiştir. Ölçümler 40 kV ve 30 mA'de difraktometre (Cu K $\alpha$ ,  $\lambda=1,54\text{\AA}$ ) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Difraktometre konumu  $2\Theta=5-40^\circ$  aralığında ayarlanmıştır. Numunelerin kristalinite indeks değerleri cihazın yazılımı kullanılarak aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır;

$$\text{Kristalinite (\%)} = \frac{I_{002} - I_{am}}{I_{002}} \times 100$$

Bu eşitlikte  $I_{002}$ ;  $2\Theta=22,1^\circ$ 'deki kırınım yoğunluğunu,  $I_{am}$  ise  $2\Theta=18^\circ$ 'deki kırınım yoğunluğunu ifade etmektedir.

### 2.3.3. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) ile Karakterizasyon

Nişasta nanopartiküllerinin ve işlem görmemiş buğday nişastasının yapısal özellikleri Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometresi (FT-IR, Thermo Nicolet Avatar 370, ABD) kullanılarak karakterize edilmiştir. Ölçümler  $4.000-400\text{ cm}^{-1}$  dalga boyu aralığında gerçekleştirilmiştir ve her örnek 32 kez taranmıştır (Xie vd., 2016).

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

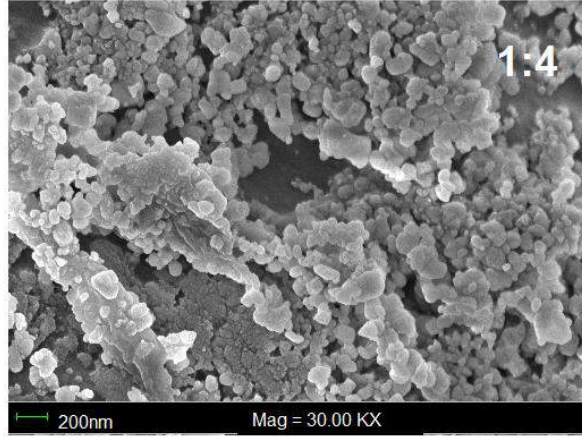
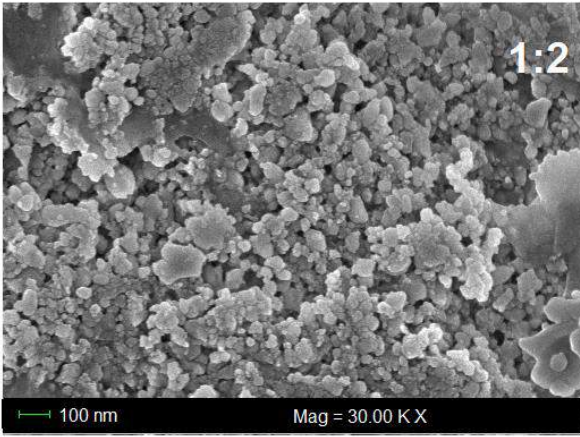
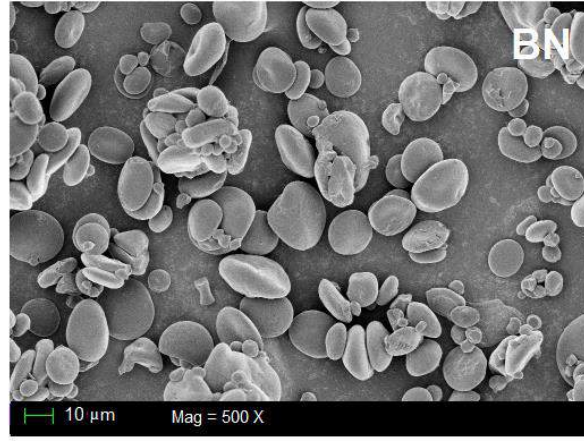
### 3.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

İşlem görmemiş buğday nişastası ve farklı  $\text{H}_2\text{SO}_4$  oranlarıyla hidroliz işlemine tabi tutularak elde edilen nişasta nanokristallerin SEM görüntüleri Şekil 1'de gösterilmiştir. İşlem görmemiş buğday nişastası granülleri farklı büyüklüklere sahip küreler halinde görüntülenmiştir. Bu granüllerin büyüklükleri genel olarak 5 ila 10  $\mu\text{m}$  arasında değişim göstermektedir. Buğday nişastasının granül büyüklüğü literatür verileri ile uyumludur. Martens vd. (2018) de buğday nişastasının granül çapını 20  $\mu\text{m}$  olarak tespit etmiştir.

Bu çalışma kapsamında buğday nişastasının asit ile hidroliz edilmesi ile elde edilen nişasta nanokristallerinin büyüklükleri ise  $<50\text{ nm}$  olarak gözlenmiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda da nişasta nanokristallerin boyutları buğday nişastasına kıyasla oldukça düşük ( $<200\text{ nm}$ ) bulunmuştur (Kim vd., 2012; Pereda ve Dufresne, 2014).

Şekil 1'den de görüleceği üzere doğal haldeki buğday nişastası granülleri birbirinden bağımsız olarak bulunurken, nişasta nanokristalleri kümeleşmiş granüller halinde bulunmaktadır. Nişasta nanokristallerin kümeler halinde bulunması literatürde de birçok çalışmada gözlenmiştir (Saeng-on ve Aht-Ong, 2017). Nişasta nanokristallerin bu şekilde kümeleşmesinin nedeni olarak, nanokristallerin yüzeyinde bulunan hidroksil gruplarının birbirleriyle etkileşimi sonucu oluşan yeni hidrojen bağları gösterilmiştir (Mariano vd., 2017). Buğday nişastasının farklı oranlarda hidroliz işlemine tabi tutulmasıyla elde edilen nanokristaller arasında ise şekil ve büyüklük açısından önemli bir farklılık gözlenmemiştir.

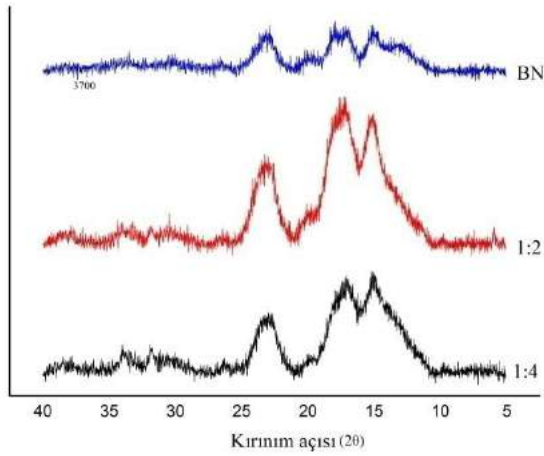




Şekil 1: Nişasta örneklerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri. BN; işlem görmemiş doğal haldeki buğday nişastası, 1:2 ve 1:4; Hidrolizde kullanılan nişasta (g): H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ml) oranı

### 3.2. X-Işını Kırınım Spektroskopisi (XRD)

Nişasta nanokristallerinin ve bunların işlem görmemiş formu olan buğday nişastasının X-ışını kırınım desenleri Şekil 2’de gösterilmiştir. X-ışını kırınım desenleri incelendiğinde her üç örnekte de  $2\theta = 23.01^\circ$ ,  $17.13^\circ$  ve  $15.09^\circ$  noktalarında belirgin pikler gözlenmektedir.



Şekil 2: Nişasta Örneklerinin X-Işını Kırınım (XRD) Desenleri. BN; işlem görmemiş doğal haldeki buğday nişastası, 1:2 ve 1:4; Hidrolizde kullanılan nişasta (g): H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ml) oranı

Normal buğday nişastası ve üretilen nanokristallerin yapısal olarak değişim göstermediği görülmekle birlikte, kristalinite indeks değerleri arasında farklılıklar belirlenmiştir. Buğday nişastasının kristalinite indeks değeri %42,2 olarak hesaplanmışken, nanokristallerin kristalinite indeks değerleri daha yüksek bulunmuştur. 1:2 oranında H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kullanılarak hidrolize edilen örneğin

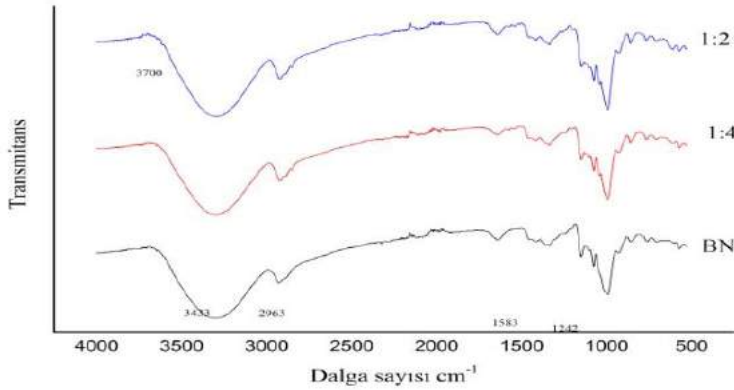


kristalinite indeksi değeri %57,3 iken 1:4 oranında  $H_2SO_4$  kullanılarak hidrolize edilen örneğin kristalinite indeksi değeri %68,5 olarak bulunmuştur. Nişasta granülündeki kristal bölgeler amorf bölgelere göre asit hidrolizine daha dirençlidir. Bu yüzden nişasta içerisindeki kristal kısımlar seyreltik sülfürik ya da hidroklorik asit varlığında izole edilebilir (Kim, Park ve Lim, 2015). Bu çalışmada seyreltik  $H_2SO_4$  ile gerçekleştirilen asit hidrolizi seçici olarak amorf bölgelere etki etmiş ve yüksek kristalinite de nişasta nanokristaller elde edilmiştir.

Nişasta kristal yapısına göre A, B ve C olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır (Cheetham ve Tao, 1998). A tipi kristal forma sahip nişastalar genel olarak hububat kökenli olup X-ışını kırınım deseninde  $2\theta=15^\circ, 17^\circ, 18^\circ$  ve  $23^\circ$ 'de belirgin pikler vererek kendilerine özgü yapıyı oluşturmaktadırlar (Kim vd., 2012, Martens vd., 2018). Bu çalışmada kullanılan buğday nişastasası ve üretilen nanokristaller de buğday nişastasasının literatürde belirtilen tipik X-ışını kırınım deseni  $2\theta$  değerlerine sahiptir.

### 3.3. Fourier Dönüştümlü Kızılötesi Spektrometresi (FT-IR)

İşlem görmemiş doğal haldeki buğday nişastasası ve nişasta nanokristallerin FT-IR spektrumları Şekil 3'te gösterilmiştir. FT-IR spektrumlarında  $3.300$  ile  $3.750\text{ cm}^{-1}$  bandındaki bölge  $-OH$  bağlarının bulunduğu bölgedir (León vd., 2017) ve bu pik nişasta içerisindeki serbest su varlığını göstermektedir. Doğal haldeki buğday nişastasası ve nişasta nanokristallerin her birinde  $2.963\text{ cm}^{-1}$ 'de keskin pik bulunmaktadır. Bu bölge  $-C-H$  bağlarının varlığını işaret etmektedir. İkinci tepe noktası  $1.583\text{ cm}^{-1}$  noktasında gözlemlenmişken üçüncü pik  $1.242\text{ cm}^{-1}$  bandındadır. Nişasta nanokristallerin doğal muadiliyle aynı absorpsiyon bantlarında pik vermesi, hidroliz sonrası doğal yapının korunduğunu göstermektedir.



Şekil 3: Fourier Dönüştümlü Kızılötesi Spektrometresi (FT-IR) Spektrumları. BN; İşlem görmemiş doğal haldeki buğday nişastasası, 1:2 ve 1:4; Hidrolizde kullanılan nişasta (g):  $H_2SO_4$  (ml) oranı

## 4.Sonuç

Bu çalışma kapsamında buğday nişastasası, iki farklı oranda (1:2 ve 1:4, nişasta:asit)  $H_2SO_4$  ile hidroliz işlemine tabi tutularak nişasta nanokristalleri üretilmiştir. Doğal buğday nişastasası ile elde edilen nişasta nanokristaller boyut, yapı ve kristalinite değerleri açısından karakterize edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre doğal buğday nişastasasının boyutu  $5-10\text{ }\mu\text{m}$ 'den,  $50\text{ nm}$ 'nin altına düşürülmüştür. Kullanılan asit oranlarının farklı olması nişasta nanokristallerinin boyutunda önemli değişikliğe neden olmamıştır. Her iki nanokristal örnek de SEM görüntüsünde kümeleşmiş halde bulunarak benzer özellikler sergilemiştir. Nişasta nanokristalleri kristalinite açısından değerlendirildiklerinde ise, doğal buğday nişastasından (%42,2 kristal) daha yüksek kristalinite indeksi değerlerine sahip oldukları gözlemlenmiştir. 1:4 (nişasta:asit) oranında asit kullanılarak üretilen nişasta nanokristal örneğinin kristalinite indeksi değeri %68,5 iken, 1:2 (nişasta:asit) oranında asit kullanılarak üretilen örneğin kristalinite indeksi değeri (%57,3) daha düşük bulunmuştur. İşlem görmemiş doğal buğday nişastasası ile asit hidrolizi sonucu üretilen nişasta nanokristalleri aynı noktalarda pikler verecek şekilde FT-IR deseni oluşturmuşlardır. Bu durum da hidroliz işleminin nişasta örneklerinin yapısı üzerinde değişikliğe neden olmadığını göstermektedir. Bu çalışma kapsamında nanomalzeme üretimi konusunda ilgi çekici bir kaynak olan nişastadan yüksek kristaliniteye sahip nanoboyutlu nanokristal üretimi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler nanokristaller kullanılarak yapılacak olan çeşitli çalışmalara ışık tutma niteliğindedir.

## Kaynakça

- Cheetham, N. W. H., ve Tao, L. (1998). Variation in crystalline type with amylose content in maize starch granules: An X-ray powder diffraction study. *Carbohydrate Polymers*, 36(4), 277–284. doi.org/10.1016/S0144-8617(98)00007-1
- Dai, L., Li, C., Zhang, J., ve Cheng, F. (2018). Preparation and characterization of starch nanocrystals combining ball milling with acid hydrolysis. *Carbohydrate Polymers*, 180(September 2017), 122–127. doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.10.015
- Dai, L., Zhang, J., ve Cheng, F. (2019). Succeeded starch nanocrystals preparation combining heat-moisture treatment with acid hydrolysis. *Food Chemistry*, 278(September 2018), 350–356. doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.018

- Hélène Angellier, Luc Choisnard, Sonia Molina-Boisseau, Patrick Ozil, ve Alain Dufresne, I. (2004). Optimization of the Preparation of Aqueous Suspensions of Waxy Maize Starch Nanocrystals Using a Response Surface Methodology. *Biomacromolecule*, 5, 41, 545-1551. doi.org/10.1021/BM049914U
- Kim, H.-Y., Lee, J. H., Kim, J.-Y., Lim, W.-J., ve Lim, S.-T. (2012). Characterization of nanoparticles prepared by acid hydrolysis of various starches. *Starch - Stärke*, 64(5), 367–373. doi.org/10.1002/star.201100105
- Kim, H.-Y., Park, S. S., ve Lim, S.-T. (2015). Preparation, characterization and utilization of starch nanoparticles. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 126, 607–620. doi.org/10.1016/J.COLSURFB.2014.11.011
- Kim, H. Y., Lee, J. H., Kim, J. Y., Lim, W. J., ve Lim, S. T. (2012). Characterization of nanoparticles prepared by acid hydrolysis of various starches. *Starch/Stärke*, 64(5), 367–373. doi.org/10.1002/star.201100105
- Kim, J. H., Park, D. H., ve Kim, J.-Y. (2017). Effect of heat-moisture treatment under mildly acidic condition on fragmentation of waxy maize starch granules into nanoparticles. *Food Hydrocolloids*, 63, 59–66. doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2016.08.018
- Lecorre, D., Bras, J., ve Dufresne, A. (2012). Influence of native starch's properties on starch nanocrystals thermal properties. *Carbohydrate Polymers*, 87(1), 658–666. doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.08.042
- León, A., Reuquen, P., Garín, C., Segura, R., Vargas, P., Zapata, P., ve Orihuela, P. A. (2017). FTIR and raman characterization of TiO<sub>2</sub> nanoparticles coated with polyethylene glycol as carrier for 2-methoxyestradiol. *Applied Sciences (Switzerland)*, 7(1), 1–9. doi.org/10.3390/app7010049
- Liu, D., Wu, Q., Chen, H., ve Chang, P. R. (2009). Transitional properties of starch colloid with particle size reduction from micro- to nanometer. *Journal of Colloid and Interface Science*, 339(1), 117–124. doi.org/10.1016/J.JCIS.2009.07.035
- Mariano, M., Mukurumbira, A., Amonsou, E. O., Dufresne, A., ve Mellem, J. J. (2017). Microstructure, thermal properties and crystallinity of amadumbe starch nanocrystals. *International Journal of Biological Macromolecules*, 102, 241–247. doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.04.030
- Martens, B. M. J., Gerrits, W. J. J., Bruininx, E. M. A. M., ve Schols, H. A. (2018). Amylopectin structure and crystallinity explains variation in digestion kinetics of starches across botanic sources in an in vitro pig model. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 9(1), 1–13. doi.org/10.1186/s40104-018-0303-8
- Namazi, H., ve Dadkhah, A. (2010). Convenient method for preparation of hydrophobically modified starch nanocrystals with using fatty acids. *Carbohydrate Polymers*, 79(3), 731–737. doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2009.09.033
- Pereda, M., ve Dufresne, A. (2014). Chapter 7: Starch Nanocrystals. Handbook of Green Materilas. Eds. Oksman, K., Mathew, A. P., Bismarck, A., Rojas, O. Sain, M.. World Scientific Pub Co Inc. doi.org/10.1142/9789814566469\_0007
- Putaux, J.-L., Molina-Boisseau, S., Momaur, T., ve Dufresne, A. (2003). Platelet Nanocrystals Resulting from the Disruption of Waxy Maize Starch Granules by Acid Hydrolysis. *Biomacromolecules*, 4(5), 1198–1202. doi.org/10.1021/bm0340422
- Romdhane, A., Arousseau, M., Guillet, A., ve Mauret, E. (2015). Cross flow microfiltration of starch nanocrystal suspensions. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 93(2), 412–418. doi.org/10.1002/cjce.22092
- Saeng-on, J., ve Aht-Ong, D. (2017). Production of starch nanocrystals from agricultural materials using mild acid hydrolysis method: Optimization and characterization. *Polymers from Renewable Resources*, 8(3), 91–116.
- Šárka, E., ve Dvořáček, V. (2017). Waxy starch as a perspective raw material (a review). *Food Hydrocolloids*, 69, 402–409. doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.03.001
- Sun, Q., Gong, M., Li, Y., ve Xiong, L. (2014). Effect of retrogradation time on preparation and characterization of proso millet starch nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, 111, 133–138. doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2014.03.094
- Xie, J., Hse, C., Hoop, C. F. De, Hu, T., Qi, J., ve Shupe, T. F. (2016). Isolation and characterization of cellulose nanofibers from bamboo using microwave liquefaction combined with chemical treatment and ultrasonication. *Carbohydrate Polymers*, 151, 725–734. doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.06.011
- Xu, Y., Ding, W., Liu, J., Li, Y., Kennedy, J. F., Gu, Q., ve Shao, S. (2010). Preparation and characterization of organic-soluble acetylated starch nanocrystals. *Carbohydrate Polymers*, 80(4), 1078–1084. doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.01.027



# **Bazı Tahıl Ürünlerinin Protein Kalite İndeksinin Protein Sindirilebilirliği – Düzeltilmiş Amino Asit Skoru (PDCAAS) Metodu ile Belirlenmesi**

Sabiha Zeynep Aydenk Köseoğlu\*

<sup>1</sup> İstanbul Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Halkalı Cad. No:2 Halkalı Küçükçekmece 34303 İstanbul Türkiye, ORCID: 0000-0001-7936-8462

(İlk Geliş Tarihi 1 Ekim 2019 ve Kabul Tarihi 27 Ekim 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.633638)

**ATIF/REFERENCE:** Aydenk Köseoğlu, S. Z. (2019). Bazı Tahıl Ürünlerinin Protein Kalite İndeksinin Protein Sindirilebilirliği – Düzeltilmiş Amino Asit Skoru (PDCAAS) Metodu ile Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 477-482.

## **Öz**

**Amaç:** Bu çalışmanın amacı ülkemizde yaygın olarak tüketilen ve bitkisel protein kaynaklarından olan bazı tahıl, kuru baklagiller ve yağlı tohumluların protein kalitesinin protein sindirilebilirliği - düzeltilmiş amino asit skoru (PDCAAS) yöntemine göre teorik olarak hesaplanması ve elde edilen sonuçlara göre sağlıklı beslenme yönünden öneminin tartışılmasıdır. **Materyal ve Metod:** Protein kalitesini belirlemede kullanılan PDCAAS yöntemi FAO ve WHO tarafından 1991 yılında bir besinin protein kalitesini değerlendirmede kullanılan bir ölçüdür. Bir besindeki proteinin PDCAAS'ını belirlemede esansiyel aminoasitlerin toplam protein oranının (amino asit skoru) protein sindirilebilirlik oranlarının ile çarpılarak hesaplanması esasına dayanır. Çalışma kapsamına tahıl ürünleri, kuru baklagiller ve bazı yağlı tohumlular alınmıştır. Ürünler sıra ile buğday ekmeçlik, buğday unu, çavdar, yulaf, beyaz, mısır, sert kuru, pirinç, arpa, buğday ruşeymi, yulaf kepeği, pilavlık bulgur, nohut, barbunya, kırmızı mercimek, fındık, antep fıstığı ve ceviz'dir. **Bulgular:** Tahıl ürünlerinin PDCAAS skorları 63 ile 95 arasında, kuru baklagillerde 68 ile 100 arasında ve yağlı tohumlarda ise 47 ile 80 arasındadır. PDCAAS skoru 100 üzeri olan gıdaların skorları 100 ya da 1 olarak düzeltilmiştir. PDCAAS belirlemede sınırlayıcı amino asitlerin daha çok, lizin, metiyonin+sistein, treonin, triptofan ve valinin olduğu görülmektedir. **Sonuç:** Bu çalışmanın da sonucu olarak protein yönünden zengin diyetler hazırlamada bu skorların göz önüne alınması optimal sağlıklı beslenme açısından büyük önem taşımakta olup beslenme profesyonelleri tarafından bu durum dikkate alınmalıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Bitkisel protein, protein kalitesi, sindirilebilirlik, PDCAAS

## **Determination of protein quality index of some cereal products by protein digestibility corrected amino acid score (PDCAAS) method**

### **Abstract**

**Aim:** The aim of this study is to determine the protein quality of some cereals, legumes and oilseeds which are widely consumed in our country and which are one of the vegetable protein sources according to protein digestibility - corrected amino acid score (PDCAAS) method and to discuss the importance of healthy nutrition according to the obtained results. **Material and method:** The PDCAAS method used to determine protein quality is a measure used by FAO and WHO in 1991 to evaluate the protein quality of a food. Determination of the PDCAAS of a protein in a food is based on the calculation of the total protein ratio (amino acid score) of the essential amino acids by multiplying the protein digestibility ratios. Cereal products, legumes and some oilseeds were included in the study. Products include bread wheat, wheat flour, rye, oats (white), corn (hard dry), rice, barley (two rows), wheat germ, oat bran, rice bulghur, chickpeas, red beans, red lentils, hazel nut, pistachios and walnut. **Results:** PDCAAS scores of cereal products were between 63 and 95, between 68 and 100 in dry legumes and between 47 and 80 in oilseeds. Foods with a PDCAAS score above 100 were corrected to 100 or 1. It is seen that the limiting amino acids in PDCAAS determination are mostly lysine, methionine + cysteine, threonine tryptophan and valine. **Conclusion:** As a result of this study, considering protein scores in preparing protein rich diets is of great importance for optimal healthy nutrition and should be taken into consideration by nutrition professionals.

\* Sorumlu Yazar: İstanbul Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, ORCID: 0000-0001-7936-8462 [szaydenk@gmail.com](mailto:szaydenk@gmail.com)

**Keywords:** Vegetable protein, protein quality, digestibility, PDCAAS

## 1. Giriş

Günlük enerji gereksinimlerimiz temel olarak karbonhidratlar, yağlar ve proteinler yoluyla karşılanmaktadır. Bu makro besin öğelerinin arasında proteinler, enerji gereksinimine katkı oranları diğerlerine göre daha az olmasına rağmen, sağlık açısından çok önemli bir yere sahiptir. [Baysal, 2015]. Proteinler amino asitlerden oluşmaktadır ve yaşam için elzemdir. Proteinler organizmada enzim, hormon, taşıma ve depolama ve reseptör gibi birçok faaliyetlerde bulunur [Collins, 2009]. Proteinler amino asitlerden oluşmaktadır ve yaşam için elzemdir. Proteinler organizmada enzim, hormon, taşıma ve depolama ve reseptör gibi birçok faaliyetlerde bulunur [Collins, 2009]. Günlük enerji kaynağımızın yaklaşık %10-15 arasını proteinlerden alırız [Köseoğlu, 2017]. Bir besinin protein kalitesini içerinde barındırdığı elzem amino asit miktarı belirler [Collins, 2009; Leser, 2013]. Yeterli protein alımı; kilo kontrolü [Halton, 2004], kemik sağlığı [Darling, 2009; Kerstetter, 2011], kalp sağlığı [Clifton, 2009], kan şekeri kontrolü [Promintzer, 2006], kas gelişimi (Bopp, 2008; Loenneke, 2010; Mettler, 2010), büyüme ve gelişme olmak üzere optimal sağlığın korunması ve devamlılığının sağlanmasında vital önem taşımaktadır.

Günlük protein gereksinimi, büyüme ve gelişme döneminde daha fazla iken yetişkinlerde bu gereksinim kg başına daha düşüktür. Protein gereksiniminin miktar olarak karşılanmasının yanı sıra proteinin içerdiği amino asit kompozisyonu da önem teşkil etmektedir. Besinsel protein tüketiminin fizyolojik etkileri ile ilişkili çalışmaların birçoğu, protein miktarına odaklanmaktadır [FAO/WHO, 1991]. Bunun yanı sıra, protein kalitesinin iştah, enerji metabolizması ve iskelet kasi protein sentezi gibi faktörlerin etkilenmesinde de ayrılmaz bir rol oynadığına dair kanıtlar vardır [Alfenas Rde, 2010; Mortensen, 2009; Symons, 2009]. Bir proteinin besin kalitesi, proteinin bir organizmanın azot ve amino asit taleplerini karşılayabilme yeterliliği ile belirlenir [FAO/WHO, 1991].

Tahıl ürünleri hayvansal kaynaklı ürünlere göre karşılaştırıldığında protein kalitesi daha düşüktür. Özellikle ısıtılmış işlem görmüş tahıl ürünlerinde izolöysin, löysin, treonin, lizin ve valin amino asitlerinde kayıplar olduğu da bilinmektedir. Bu amino asitler arasında lizin amino asidi, proses aşamalarından daha fazla etkilendiğinden bir besinin protein kalitesini önemli derecede etkilemektedir.

Protein kalitesini değerlendirmede en yaygın kabul edilen yöntem, Protein Sindirilebilirliği - Düzeltilmiş Amino Asit Skoru (PDCAAS) 'dur [Schaafsma, 2005]. PDCAAS yöntemi FAO ve WHO tarafından 1991 yılında bir besinin protein kalitesini değerlendirmede kullanılan bir ölçüdür. PDCAAS yöntemi protein kalitesini esansiyel aminoasitlerin toplam protein oranına göre değerlendirme esasına dayanmaktadır. Sıçanlarla yapılan bir çalışmada, sindirilen ham protein oranının sınırlayıcı amino asit skoru ile çarpımı ile PDCAAS değerine ulaşılmaktadır. Bir besindeki proteinin PDCAAS 'nın 1 olması, protein içerisindeki esansiyel aminoasitlerin organizmanın ihtiyaç duyduğu elzem aminoasitlerin %100'ünü karşılama potansiyeline sahip olduğunu ifade etmektedir. Besinlerin protein sindirilebilirlik oranlarının düşük veya yüksek olması PDCAAS değerini önemli ölçüde etkilemektedir [FAO/WHO, 1991]. Lizin, sülfürlü amino asitler, treonin, triptofan, valin, izolöysin ve löysin yapılan bazı çalışmalarda PDCAAS değerini hesaplamada sınırlayıcı amino asitler olarak belirlenmiştir [Caire-Juvera, 2013; Pérez-Conesa, 2002].

Bir besinin PDCAAS'ı konusunda yapılan çalışma sayısı çok azdır. Bunun nedeni klinik çalışmaların etik kurul onayı, zaman ve maliyet açısından dezavantaja sahip olmasıdır. Yapılan son çalışmalarda in vitro ve in vivo çalışmalar arasında önemli ölçüde korelasyon saptanmış olup, bir besinin PDCAAS 'sini belirlemede in vitro çalışmalar daha çok tercih edilmektedir [Rozaan, 2017].

Bu çalışmanın amacı ülkemizde yaygın olarak tüketilen bazı tahıl ve kuru baklagillerin protein kalitesinin PDCAAS yöntemine göre teorik olarak hesaplanması ve elde edilen sonuçlara göre sağlıklı beslenme yönünden öneminin tartışılmasıdır.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamına tahıl ürünleri, kuru baklagiller ve bazı yağlı tohumlular alınmıştır. Ürünler sıra ile buğday ekmeçlik, buğday unu, çavdar, yulaf, beyaz, mısır, sert kuru, pirinç, arpa, buğday ruşeymi, yulaf kepeği, bulgur pilavlık, nohut, barbunya, kırmızı mercimek fındık, antepfıstığı ve ceviz'dir. Protein ve amino asit değerleri: Çalışmaya dahil edilen tahıl ve kuru baklagillerin protein ve amino asit değerleri Ulusal Gıda Kompozisyon Veri Tabanı (TURKOMP) 'nından alınmıştır. Tahıl ve kuru baklagillerin sindirilebilirlikleri değişkenlik göstermektedir. Bu ürünlere ait ortalama protein sindirilebilirlik değerleri ise Abdel-Aal vd. (2002) tarafından ortalama değer (%86,7) alınmıştır. FAO/WHO/UNU (2007) tarafından bir besinin amino asit skoru ve protein sindirilebilirliği- düzeltilmiş amino asit skoru (PDCAAS) değerlerini ait hesaplama metodu aşağıda gösterilmiştir. Hesaplama bilinen en kaliteli protein olan anne sütü proteini esas olarak alınmıştır. PDCAAS hesaplamada, 20 amino asit içinde 11 amino asidin gram protein başına düşen mg amino asit miktarı ilişkilendirilmiştir. Bu amino asitler genel olarak elzem amino asitlerdir. Bu hesaplama yönteminde aromatik amino asitlerden fenilalanin ve tirozinin toplamı ve sülfürlü amino asitlerden metionin ve sisteinin toplam değerleri alınmıştır. Tablo 1'de anne sütüne ait gram protein içindeki bu 11 amino asidin referans değerleri verilmiştir [FAO/WHO, 2007].

Tablo 1. Anne sütü amino asit profili.

Amino Asit	mg/g toplam protein
Histidin	21
İzo-Lösin	55
Lösin	96
Lizin	69
Metiyonin+Sistein	33
Fenilalanin+Tirozin	94
Treonin	44
Triptofan	17
Valin	55

Ref: Dietary protein quality evaluation in human nutrition [FAO/WHO, 1991]

Protein gereksinimi bebeklik döneminde kg başına daha fazla iken, çocukluk ve yetişkinlerde bu gereksinim daha azdır. Bu bilgiye göre FAO/WHO/UNU (2007) belirli yaş guruplarına ait gram protein başına alınacak amino asit (mg) değerleri belirlemiştir. Tablo 2’de görüldüğü gibi yaş arttıkça gram protein içindeki amino asit (mg) miktarı azalmaktadır.

Tablo 2. Yaş guruplarına göre gram protein başına mg cinsinden amino asit değerleri.

Amino Asit (mg/g toplam protein)	Histidin	İzo-Lösin	Lösin	Lizin	Metiyonin +Sistein	Fenilalanin +Tirozin	Treonin	Triptofan
Yaş	21	55	96	69	33	94	44	17
0-5 yaş	20	32	66	57	27	52	31	8,5
1_2	18	31	63	52	25	46	27	7
3_10	16	30	61	48	23	41	25	6,6
11_14	16	30	61	48	23	41	25	6,6
15_18	16	30	60	47	23	40	24	6,3
>18	15	30	59	45	22	38	23	6

Ref: Dietary protein quality evaluation in human nutrition [FAO/WHO, 1991]

Amino asit skoru hesaplanması: Amino asit skoru belirlenecek besinde, ilk önce gram protein içindeki amino asit (mg) hesaplanır. Daha sonra hangi yaş grubu için hesaplama yapılacaksa Tablo 2’de belirtilen değerlere bölünür. Elde edilen değerler amino asit skorudur. PDCAAS belirlemede ise en küçük oran alınır. Bu amino aside PDCAAS belirlemede sınırlayıcı amino asit denir. Sınırlayıcı amino asit değeri ile o besindeki protein sindirilebilirlik değeri ile çarpılır ve PDCAAS değeri hesaplanmış olur.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Tablo 3’de Ulusal Gıda Kompozisyon Veri Tabanı (TURKOMP) tarafından incelenen besinlerin amino asit kompozisyonu ve protein değerleri verilmiştir. Tablo 4’de ise gram protein başına düşen amino asit miktarları ve Tablo 5’te ise sınırlayıcı amino asitler ve PDCAAS değerleri bulunmaktadır. Ekmeklik buğday ve buğday ununun amino asit değerleri karşılaştırıldığında (Tablo 4) özellikle lizin, treonin ve triptofan’da önemli ölçüde azalma görülmüştür. Ekmeklik buğday ve buğday ununun PDCAAS skorlarını karşılaştırdığımızda ise buğday ekmekliğinin 95 iken buğday ununun 65’tir. Ekmeklik buğdayda, PDCAAS skorunu belirlemede sınırlayıcı amino asit treonin amino asidinin, buğday ununda ise lizin amino asidinin etkili olduğu görülmektedir. Çavdar ve yulafın amino asit değerlerinin (mg/g protein) birbirine yakın olduğu ve PDCAAS belirlemede her iki örnekte de sınırlayıcı amino asit olarak treoninin etkili olduğu görülmüştür. Bunun yanında çavdarın PDCAAS’ının 75 ve yulafın ise 74 olduğu ve birbirine yakın olduğu saptanmıştır. Yulaf’ta PDCAAS belirlemede treoninin sınırlayıcı amino asit iken yulaf kepeğinde ise valin amino asidi olduğu ve PDCAAS skorunun da 73 olduğu görülmüştür. Mısır ve pirinç örneklerinin amino asit değerleri karşılaştırıldığında mısır’da triptofanın çok düşük olduğu görülmektedir (Tablo 4). PDCAAS belirlemede mısırdaki iso-lösin amino asidi etkili olurken pirinç örneğinde ise lizinin etkili olduğu saptanmıştır. Her iki örneğin PDCAAS skorlarına bakıldığında ise mısır’ın 82 iken pirincin 68 olduğu hesaplanmıştır. Bulgur ve buğday rüşeyminin PDCAAS değerlerinin buğdayinkinden düşük olduğu görülmektedir. PDCAAS belirlemede buğday rüşeyminde sınırlayıcı amino asit grubu metiyonin+sistein iken bulgurda valin’dir. Her iki örneğin de PDCAAS değerleri buğdaya göre daha düşüktür. Arpa örneğinin PDCAAS’ını belirlemede buğdayda olduğu gibi sınırlayıcı amino asitin treonin olduğu saptanmıştır. Fakat arpa’nın PDCAAS skorunun buğdaya göre daha düşük olduğu da görülmüştür. Kuru baklagillerden nohut örneğinin PDCAAS’ını belirlemede sınırlayıcı amino asit valin iken, kırmızı mercimek örneğinde triptofan olduğu saptanmıştır. Buna rağmen her iki örneğin de amino asit skorları 1 ve PDCAAS değerlerinin 1’in üzerinde olduğu görülmektedir. Fakat barbunya örneğinde sınırlayıcı amino asidin löysin olduğu ve PDCAAS skorunun da (68) diğer kuru



baklagillere göre çok daha düşük olduğu saptanmıştır. Antep fıstığı, ceviz ve fındık örneklerinde dallı-zincirli amino asitler olan valin, löysin ve iso-löysin amino asit değerlerinin diğer gıda gruplarına göre düşük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla protein kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir.

Tablo 3. Amino asit skoru hesaplamada kullanılan örneklerin protein (g/100g) ve amino asit değerleri (mg/100g).

Örnek	Protein g/100g	HIS mg/g	ILE mg/g	LEU mg/g	LYS mg/g	MET+ CYS mg/g	PHE+TYR mg/g	THR mg/g	TRP mg/g	VAL mg/g
Buğday ekmeçlik*	11,3	241	415	837	629	277	970	283	184	507
UN 550*	10,66	145	555	972	310	282	1238	192	131	637
Çavdar*	7,68	136	222	434	509	192	529	154	139	294
Yulaf, Beyaz*	11,35	236	406	806	610	254	989	223	166	545
Mısır, Sert Kuru*	9,7	203	277	938	567	231	789	212	74	366
Pirinç, Osmancık*	6,84	129	185	421	241	190	561	130	160	256
Arpa iki sıralı*	9,75	162	379	733	499	305	890	197	151	474
Buğday Ruşeymi*	29,64	1084	888	1762	2019	593	1959	1450	361	1312
Yulaf Kepeği*	12,88	148	282	718	486	624	831	229	176	347
Bulgur Pilavlık*	12,08	744	427	1015	1561	479	962	520	146	485
Nohut*	18,56	634	937	1517	2438	650	1803	748	178	1001
Barbunya*	21,07	771	755	964	2728	902	1384	1086	181	668
Kırmızı Mercimek*	25,81	835	1273	2001	3610	734	2427	949	200	1305
Fındık*	14,24	282	348	695	671	242	796	251	237	418
Antep Fıstığı*	17,64	406	492	972	1486	331	1120	372	268	634
Ceviz*	14,57	538	569	967	353	296	1098	1083	347	655

Ref\*: www.turkomp.gov.tr

Tablo 4. Amino asit skoru hesaplamada mg/g protein değerleri.

	HIS	ILE	LEU	LYS	MET+CYS	PHE+TYR	THR	TRP	VAL
Referan, Yetişkin >18 yaş*	15*	30*	59*	45*	22*	38*	23*	6*	39*
Buğday ekmeçlik	21	37	74	56	25	86	25	16	45
UN 550	14	52	91	29	26	116	18	12	60
Çavdar	18	29	57	66	25	69	20	18	38
Yulaf, Beyaz	21	36	71	54	22	87	20	15	48
Mısır, Sert Kuru	21	29	97	58	24	81	22	8	38
Pirinç, Osmancık	19	27	62	35	28	82	19	23	37
Arpa iki sıralı	17	39	75	51	31	91	20	15	49
Buğday Ruşeym	37	30	59	68	20	66	49	12	44
Yulaf Kepeği	11	22	56	38	48	65	18	14	27
Bulgur Pilavlık	62	35	84	129	40	80	43	12	40
Nohut	34	50	82	131	35	97	40	10	54
Barbunya	37	36	46	129	43	66	52	9	32
Kırmızı Mercimek	32	49	78	140	28	94	37	8	51
Antep Fıstığı	23	28	55	84	19	63	21	15	36
Ceviz	37	39	66	24	20	75	74	24	45
Fındık	20	24	49	47	17	56	18	17	29

Ref\*: Dietary protein quality evaluation in human nutrition [FAO/WHO, 1991]

Antep fıstığının PDCAAS' ını belirlemede sınırlayıcı amino asitin, hem treonin hem de valin olduğu belirlenmiştir. Fındıkta da PDCAAS belirlemede sınırlayıcı amino asit valindir. Cevizde ise sınırlayıcı amino asit lizin'dir. Bu üç yağlı tohum örneğinin PDCAAS' na bakıldığında, Antep fıstığının 80, fındığın 65 ve cevizin ise 47 olduğu saptanmıştır. Görüldüğü gibi hem fındık hem de cevizin PDCAAS değerlerinin genel olarak düşük olduğu görülmektedir.

Tablo 5. Örneklere ait düzeltilmiş amino asit skorları, sınırlayıcı amino asitler ve PDCAAS değerleri.

Örnek	HIS	ILE	LEU	LYS	MET+CYS	PHE+TYR	THR	TRP	VAL	PDCAAS
Buğday ekmeçlik	1,42	1,22	1,26	1,24	1,11	2,26	1,09	2,71	1,15	95
UN 551	0,91	1,74	1,55	0,65	1,2	3,06	0,78	2,05	1,53	56
Çavdar	1,18	0,96	0,96	1,47	1,14	1,81	0,87	3,02	0,98	75
Yulaf	1,39	1,19	1,2	1,19	1,02	2,29	0,85	2,44	1,23	74
Mısır, Sert Kuru	1,4	0,95	1,64	1,3	1,08	2,14	0,95	1,27	0,97	82
Pirinç, Osmancık	1,26	0,9	1,04	0,78	1,26	2,16	0,83	3,9	0,96	68
Arpa iki sıralı	1,11	1,3	1,27	1,14	1,42	2,4	0,88	2,58	1,25	76
Buğday Ruşeymi	2,44	1	1,01	1,51	0,91	1,74	2,13	2,03	1,13	79
Yulaf Kepeği	0,77	0,73	0,94	0,84	2,2	1,7	0,77	2,28	0,69	63
Bulgur Pilavlık	4,11	1,18	1,42	2,87	1,8	2,1	1,87	2,01	1,03	89
Nohut	2,28	1,68	1,39	2,92	1,59	2,56	1,75	1,6	1,38	120
Barbunya	2,44	1,19	0,78	2,88	1,95	1,73	2,24	1,43	0,81	68
Kırmızı Mercimek	2,16	1,64	1,31	3,11	1,29	2,47	1,6	1,29	1,3	112
Antep Fıstığı	1,53	0,93	0,93	1,87	0,85	1,67	0,92	2,53	0,92	80
Ceviz	2,46	1,3	1,12	0,54	0,92	1,98	3,23	3,97	1,15	47
Fındık	1,32	0,81	0,83	1,05	0,77	1,47	0,77	2,77	0,75	65

Sonuçları genel olarak değerlendirdiğimizde tahıl ürünlerinin PDCAAS skorları 63 ile 95 arasında, kuru baklagillerde 68 ile 100 arasında ve yağlı tohumlarda ise 47 ile 80 arasındadır. PDCAAS skoru 100 üzeri olan gıdaların skorları 100 ya da 1 olarak düzeltilmektedir. PDCAAS belirlemede sınırlayıcı amino asitlerin daha çok, lizin, metiyonin+sistein, treonin triptofan ve valinin olduğu görülmektedir.

Pérez-Conesa ve ark (2002) yapmış oldukları çalışmalarda tahıl içeren bebek ek gıdalarında kükürtlü amino asitlerin, lizin ve triptofanın PDCAAS belirlemede sınırlayıcı amino asitler olduğunu bildirmiştir. Abdel-Aal ve ark (2002)'nun yapmış oldukları çalışmada sınırlayıcı amino asidin işlenmiş tahıllardaki lizin olduğunu saptamıştır. Başka bir çalışmada ise tahıl bazlı ürünlerde sınırlayıcı amino asit lizin olup, amino asit skorları 0.15 ila 0.54 arasında değişmiştir (Caire-Juvera, 2013). Aynı çalışmada, baklagil ürünlerinde metiyonin ± sistein, amino asitleri sınırlayıcı amino asitlerdir ve skorlarının 0,41 ile 0,47 arasında olduğu bulunmuştur. Jullyana ve ark (2012) yapmış oldukları çalışmada fındıkların PDCAAS skorlarının %57 ile %90 arasında değiştiği belirtilmiştir. Bizim çalışmamızda da fındığın PDCAAS skoru %65 olduğu görülmektedir.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada tahıl, kuru baklagil ve bazı yağlı tohumların protein kaliteleri FAO/WHO PDCAAS yöntemine göre değerlendirilmiştir. Bu besinlerin PDCAAS 'ını belirlemede sınırlayıcı amino asitlerin daha çok, lizin, metiyonin+sistein, treonin triptofan ve valinin olduğu görülmektedir. Özellikle işlem görmüş buğday ununun protein kalite indeksinin öğütülmemiş buğdaya göre çok daha düşük olduğu bulunmuştur. Literatürde de belirtildiği gibi proses görmüş ürünlerde lizin miktarında önemli kayıplar olmaktadır. Çalışma kapsamımızda PDCAAS belirlenen buğday ununda lizinin çok düşük olduğu ve PDCAAS belirlemede sınırlayıcı amino asit olduğu görülmektedir. Genel olarak tahıl ürünleri değerlendirildiğinde işlem görmüş un ve yulaf kepeğinin PDCAAS skorunun düşük olduğu tespit edilmiştir. Kuru baklagillerden barbunyanın PDCAAS düşük iken diğerlerinin 1 ya da 100'ün üzerinde olduğu ve iyi bir protein kaynağı olduğunu desteklemektedir. Yağlı tohumlarda ise Antep fıstığının PDCAAS skoru çok iyi iken fındık özellikle cevizin daha düşük olduğu görülmektedir. FAO/WHO'ya göre bir besinin PDCAAS skoru diyetle alınan protein organizmada protein sentezine katılma potansiyelini vermektedir. Dolayısıyla protein yönünden zengin diyetler hazırlanırken bu skorların hesaplanarak protein kaliteleri yönünden değerlendirilmeleri sağlıklı beslenme yönünden önem teşkil etmektedir. Tıbbi beslenme programlarının hazırlanmasında protein miktarlarının yanı sıra besinlerin içerdiği proteinlerin kalitelerinin de göz önüne alınması gerekmektedir.

## **Kaynaklar**

- [1] Abdel-Aal ES, and Hucl P. [2002]. Amino acid composition and in vitro protein digestibility of selected ancient wheats and their end products. *Journal of Food Composition and Analysis*, 15(6), 737-747.
- [2] Alfenas Rde C, Bressan J, Paiva AC. [2010]. Effects of protein quality on appetite and energy metabolism in normal weight subjects. *Arq Bras Endocrinol Metabol*, 54(1), pp. 45-51. doi: 10.1590/S0004-27302010000100008.
- [3] Collins N. [2009] Nutrition 411: Understanding the protein digestibility corrected amino acid score (PDCAAS). *Ostomy Wound Management*, 55(6). <https://www.o-wm.com/content/understanding-protein-digestibility-corrected-amino-acid-score-pdcaas>
- [4] Baysal A. [2015]. *Beslenme*. Ankara: Hadipoğlu Yayınları. (ISBN: 978-9757527732)
- [5] Bopp MJ, Houston DK, Lenchik L, Easter L, Kritchevsky SB, Nicklas BJ. [2008]. Lean mass loss is associated with low protein intake during dietary-induced weight loss in postmenopausal women. *J Am Diet Assoc*. 108(7), pp. 1216–1220. doi: 10.1016/j.jada.2008.04.017.
- [6] Caire-Juvera G, Vázquez-Ortiz FA, & Grijalva-Haro MI. [2013]. Amino acid composition, score and in vitro protein digestibility of foods commonly consumed in Northwest Mexico. *Nutr Hosp.*, 28(2), pp. 365-371. doi: 10.3305/nh.2013.28.2.6219
- [7] Clifton PM, Bastiaans K, & Keogh, JB. [2009]. High protein diets decrease total and abdominal fat and improve CVD risk profile in overweight and obese men and women with elevated triacylglycerol. *Nutr Metab Cardiovasc Dis.*, 19(8), pp. 548-554. doi: 10.1016/j.numecd.2008.10.006
- [8] Darling AL, Millward DJ, Torgerson DJ, Hewitt CE, & Lanham-New SA. [2009]. Dietary protein and bone health: a systematic review and meta-analysis. *Am J Clin Nutr.*, 90(6), pp. 1674-1692. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.27799>
- [9] FAO/WHO Expert Consultation. [1991]. Report of the Joint FAO/WHO Expert Consultation: Protein Quality Evaluation. FAO Food and Nutrition Paper no.51.
- [10] Halton TL, & Hu FB. [2004]. The effects of high protein diets on thermogenesis, satiety and weight loss: a critical review. *J Am Coll Nutr.*, 23(5), pp. 373-385.
- [11] Kerstetter JE, Kenny AM, Insogna KL. [2011]. Dietary protein and skeletal health: a review of recent human research. *Curr Opin Lipidol.*, 22(1), pp. 16-20.
- [12] Köseoğlu SZA, & Tayfur AÇ. [2017]. Adölesan Dönemi Beslenme ve Sorunları. *JCP* 2017; 15(2): 50-62. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/333405>
- [13] Jullyana BF, Daniela CF, Ludmila PC, Jean Carlos RL, Amanda GO S, & Maria Margareth VN. [2012]. Edible seeds and nuts grown in Brazil as sources of protein for human nutrition. *Food and Nutrition Sciences*, 3(6), pp. 857-862. doi: 10.4236/fns.2012.36114.
- [14] Leser S. [2013]. The 2013 FAO report on dietary protein quality evaluation in human nutrition: Recommendations and implications. *Nutrition Bulletin*, 38(4), pp. 421-428. <https://doi.org/10.1111/nbu.12063>
- [15] Loenneke JP, Balapur A, Thrower AD, Syler G, Timlin M, Pujol TJ. [2010]. Short report: Relationship between quality protein, lean mass and bone health. *Ann Nutr Metab*, 57(3-4), pp. 219-220. doi: 10.1159/000321736.
- [16] Mettler S, Mitchell N, Tipton KD. [2010]. Increased Protein Intake Reduces Lean Body Mass Loss during Weight Loss in Athletes. *Med Sci Sports Exerc.*, 42(2), pp. 326-337.
- [17] Mortensen LS, Hartvigsen ML, Brader LJ, Astrup A, Schrezenmeir J, Holst JJ, Thomsen C, Hermansen K. [2009]. Differential effects of protein quality on postprandial lipemia in response to a fat-rich meal in type 2 diabetes: comparison of whey, casein, gluten, and cod protein. *Am J Clin Nutr*, 90(1), pp. 41-48. doi: 10.3945/ajcn.2008.27281.
- [18] Pérez-Conesa D, Ros G, & Periago MJ. [2002]. Protein nutritional quality of infant cereals during processing. *Journal of Cereal Science*, 36(2), pp. 125-133. <https://doi.org/10.1006/jcrs.2002.0463>.
- [19] Promintzer M, Krebs M. [2006]. Effects of dietary protein on glucose homeostasis. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, 9(4), pp. 463-468.
- [20] Schaafsma G. [2005]. The Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score (PDCAAS)—a concept for describing protein quality in foods and food ingredients: a critical review. *J AOAC Int.*, 88(3), pp. 988-994.
- [21] Symons TB, Sheffield-Moore M, Wolfe RR, Paddon-Jones D. [2009]. A moderate serving of high-quality protein maximally stimulates skeletal muscle protein synthesis in young and elderly subjects. *J Am Diet Assoc*, 109(9), pp. 1582-1586. doi: 10.1016/j.jada.2009.06.369.
- [22] WHO/FAO/UNU Expert Consultation. [2007]. Protein and amino acid requirements in human nutrition. WHO Technical Report Series, 935, 1-265.
- [23] Rozan P, Lamghari R, Linder M, Villaume C, Fanni J, Parmentier M, & Méjean L. [1997]. In vivo and in vitro digestibility of soybean, lupine, and rapeseed meal proteins after various technological processes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(5), pp. 1762-1769.



# A Turn OFF Fluorescent Probe For Selective Detection Of Hg<sup>2+</sup> Ions

Duygu Aydin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Karamanoglu Mehmetbey University, Kamil Ozdag Science Faculty, Department of Chemistry, Karaman, 70100 Turkey, (ORCID: 0000-0003-0436-1869)

(İlk Geliş Tarihi 1 Ekim 2019 ve Kabul Tarihi 27 Ekim 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.634119)

**REFERENCE:** Aydin, D. (2018). A Turn Off Fluorescent Probe for Selective Detection of Hg<sup>2+</sup> Ions. *European Journal of Science and Technology*, (17), 483-490.

## Abstract

In this study, we prepared a novel fluorescent chemosensor containing an imidazole molecule and the chemosensor characterized utilizing <sup>1</sup>H-NMR, <sup>13</sup>C-NMR spectroscopy, FT-IR spectrometer and elemental analyzer. Prepared sensor was utilized as an effectively selective and a fastly responsive chemical fluorescent sensor for "turn off" determination of mercury (II) ions in EtOH. A clear complex between 2-((4-(1H-phenanthro[9,10-d]imidazol-2-yl)benzylidene)amino) phenol (**PENIM**) and Hg<sup>2+</sup> ions was determined and calculated employing the Job's method and also the limit of detection value was found to be 2.1 nM on the basis of 3σ/k. Furthermore, the sensor-Hg<sup>2+</sup> displayed and reversible property for mercapto containing cysteine molecules. Also, the fluorescence enhancement and quenching studies were supported by computational experiments based on the density functional theory (DFT) calculations.

**Keywords:** Fluorescence sensor, Mercury ions.

## Öz

Bu çalışmada imidazol içeren yeni bir floresan sensör sentezlenmiş ve sentezlenen sensörün karakterizasyonu <sup>1</sup>H-NMR, <sup>13</sup>C-NMR spektroskopisi, FT-IR spektroskopisi ve elemental analiz cihazı kullanılarak yapılmıştır. Hazırlanan sensör etanol içerisinde civa iyonlarına hem hızlı hem de seçici olarak floresanı söndürerek cevap vermiştir. Sentezlenen 2-((4-(1H-Fenanteimidazol [9,10-d]imidazol-2-)benziliden)amino) fenol (**PENIM**) and Hg<sup>2+</sup> iyonları arasında kompleksleşme gerçekleştirilmiş ve bu kompleksleşme JOB metodu kullanılarak da kompleksleşme oranı teorik olarak hesaplanmıştır. Sentezlenen probun deteksiyon limiti 3σ/k formülü kullanılarak 2.1 nM olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, elde edilen civa (II)-**PENIM**, merkapto molekülü içeren sistein amino asidine karşı tersinir olarak cevap vermiştir. PENIM molekülünün civa iyonlarına karşı cevap vermesinin sonucu olarak floresan şiddetinin artırılması ve söndürülmesi ile ilgili çalışma, yoğun fonksiyonel hesaplama(DFT) yapılarak teorik olarak desteklenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Floresan sensör, Civa iyonları

## 1. Introduction

During the past decade, development of practical chemosensors has been taken attention of researchers since they allow the selective and sensitive detection of heavy metal ions causing serious environmental disasters and health problems. Among these metal ions, mercury ions and most of their compounds exist in water, soil, and food. Even in small concentrations, they are extremely poisonous neurological toxins and the most ubiquitous pollutants in ecosystem. The human body may receive mercury ions through contaminated natural water which is a major source of mercury ions and skin contact to mercury containing natural and anthropogenic sources. The accumulation of mercury ions in the body can cause a number of severe permanent health problems for example brain damage, and various cognitive and motion disorders, mitosis impairment, coronary heart disease and kidney failure (J. F. Chen et al., 2017; Jiao, Zhang, & Zhou, 2016; G. Li, Ma, Liu, Fan, & Pu, 2017; Q. Li et al., 2016). The Environmental Protection Agency (EPA) and The World Health Organization (WHO) have reported that the maximum allowable concentration for mercury (II) in drinking water is 2.0 and 6.0 ppb, respectively (M. Li, Zhou, Ding, Guo, & Wu, 2013).

<sup>1</sup> **Corresponding Author:** Karamanoglu Mehmetbey University, Kamil Ozdag Science Faculty, Department of Chemistry, Karaman, 70100 Turkey, ORCID: 0000-0003-0436-1869, duyguaydin@kmu.edu.tr

Thus, the development of efficient methodologies for rapid and sensitive detection of  $\text{Hg}^{2+}$  ions in contaminant natural water is undoubtedly an important step to monitor their toxic impacts on both the human health and environment (G. Chen, Guo, Zeng, & Tang, 2015; L. Chen et al., 2011; Han, Yuan, & Wang, 2009; Karuk Elmas & Yilmaz, 2018).

In this regard, researchers have proposed numerous sensitive methods, including graphite flame atomic absorption spectrometry (AAS), Plasmon-resonance Rayleigh scattering spectroscopy (RSS), inductively coupled mass atomic emission spectrometry (ICM–AES), electrochemical assays, capillary electrophoresis and so on, for effectively monitoring mercury (II) ions in the past few years. Although these methods have good sensitivity and selectivity, they are high cost, time consuming and require complicated sample pretreatment procedures. Therefore, fluorescence chemosensors based determination technique is preferred since this technique presents some advantages for example operational homeliness, real-time monitoring, simple instrumentation, quick response time and non-destructive. In this concept, numerous fluorescent groups based on organic dyes such as BODIPY, fluorescein, perylene, pyrene, coumarin, naphthylamide and cyanine etc have been developed and utilized in sensitive detection of  $\text{Hg}^{2+}$  (Guo & Irudayaraj, 2011; Taki, Akaoka, Iyoshi, & Yamamoto, 2012). However, most of the designed mercury sensors have disadvantages, especially in terms of long response time, sensitivity and selectivity.

In this study, we fabricate a new highly sensitive fluorescent "turn off" chemosensor containing 4-(1H-phenanthro[9,10-d]imidazol-2-yl)benzaldehyde (**PENIM**) for the determination of mercury (II) ions in ethanol. Fabricated sensor was analyzed by  $^1\text{H-NMR}$ ,  $^{13}\text{C-NMR}$ , ATR–FTIR spectroscopy and elemental analyzer. It showed a remarkable fluorescence enhancement for mercury (II) the detection in solution with high sensitivity and selectivity. Therefore, fabricated sensor could be utilized as a fluorescence sensor for analyzing of mercury (II) in solutions.

## 2. Materials and Methos

### 2.1. General Information

2-hydroxy anyline, terephthalaldehyde, ammonium acetate, 9,10-phenanthroquinone, ammonium acetate, other used reagents and all solvents were obtained from commercial suppliers and they were employed without further purification. Perchlorate salts of metal ions were utilized. FT-IR spectroscopy and NMR spectra were collected employing a Perkin Agilent Cary Eclipse spectrometer and a Varian 400 MHz instrument, respectively. Elemental analysis results for **PENIM** were obtained by using a Leco CHNS 932 instrument. Fluorescent spectra were taken using on a Perkin Agilent Cary Eclipse spectrometer.

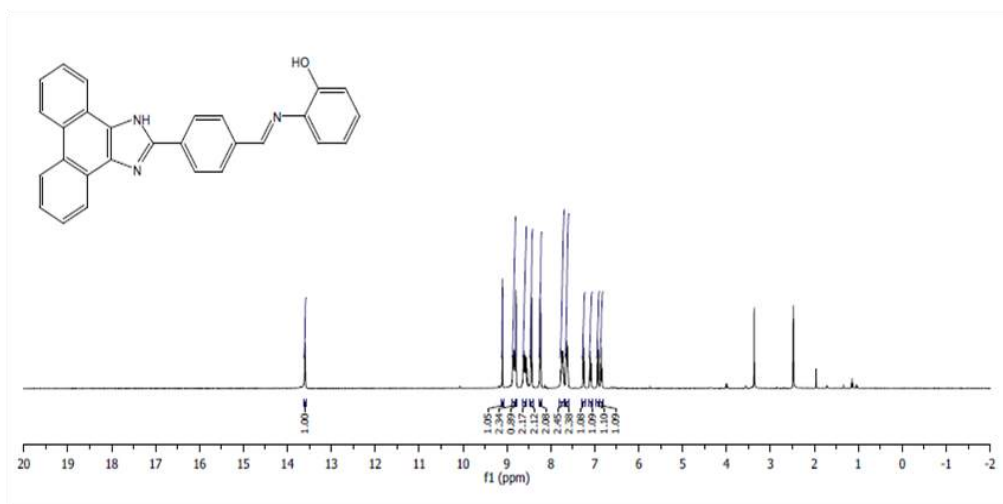
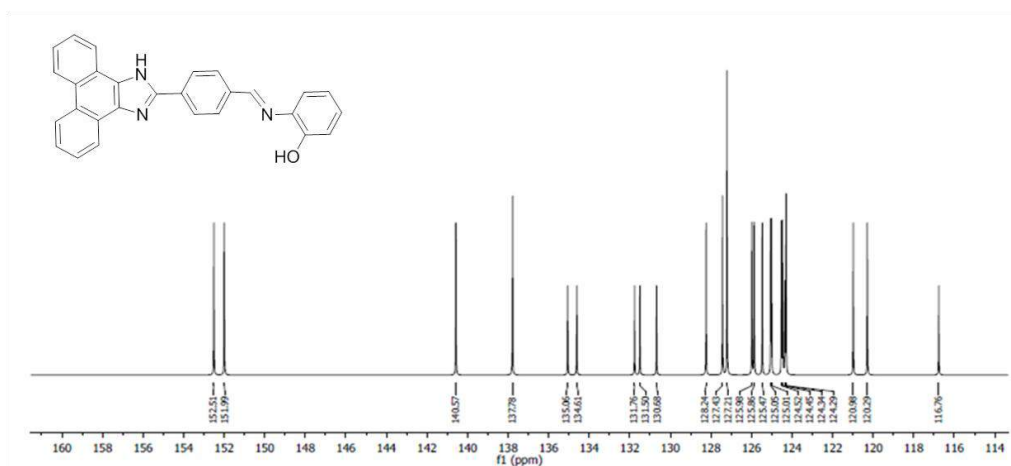
### 2.2. Synthesis of 4-(1H-phenanthro[9,10-d]imidazol-2-yl)benzaldehyde (PEMA)

The synthesis of 4-(1H-phenanthro[9,10-d]imidazol-2-yl)benzaldehyde (**PEMA**) was carried out according to reported previously literature (Lin, Long, Yuan, Cao, Chen&Tan, 2008).

### 2.3. Synthesis of 2-((4-(1H-phenanthro[9,10-d]imidazol-2-yl)benzylidene)amino)phenol (PENIM)

To synthesize the ligand, 2-((4-(1H-phenanthro[9,10-d]imidazol-2-yl)benzylidene)amino) phenol (**PENIM**) (0.5 g, 1.55 mmol) and 2-hydroxy anyline (0.169 g, 1.55 mmol) were added into a round-bottom flask and dissolved in absolute ethanol (10 mL) and reaction was refluxed for 12 h under nitrogen atmosphere. Afterwards, precipitate was filtered and washed with excess EtOH for removing unreacted species. The precipitate was dried in *vacuo*. Yield: 60%. Anal. Calcd. for  $\text{C}_{28}\text{H}_{19}\text{N}_3\text{O}$  (Mw: 413.47): requires C, 81.97; H, 4.38; N, 8.69 % Found: C, 81.21; H, 4.45; N, 8.95%.  $^1\text{H NMR}$  (400 MHz,  $\text{d}_6\text{-DMSO}$ ):  $\delta$  6.70 (t, 1H, ArH), 6.90 (d, 1H, ArH), 7.22 (t, 1H, ArH), 7.40 (d, 1H, ArH), 7.60 (m, 2H, ArH), 7.70 (m, 2H, ArH), 8.32 (d, 2H, ArH), 8.45 (d, 2H, ArH), 8.62 (m, 2H, ArH), 9.06 (m, 2H, ArH), 8.89 (s, 1H, CHN), 9.21 (s, 1H, OH), 13.53 (s, 1H, NH).  $^{13}\text{C NMR}$  (100 MHz,  $\text{d}_6\text{-DMSO}$ ):  $\delta$  152.51, 151.99, 140.57, 137.78, 135.06, 134.61, 131.70, 131.50, 130.68, 128.24, 127.43, 127.21, 125.98, 125.86, 125.47, 125.05, 125.01, 124.52, 124.45, 124.34, 124.29, 120.98, 120.29, 116.76 (Fig1 and 2).



Fig. 1.  $^1\text{H}$ -NMR spectrum of **PENIM** in  $\text{DMSO-d}_6$ .Fig. 2.  $^{13}\text{C}$ -NMR spectrum of **PENIM** in  $\text{DMSO-d}_6$ .

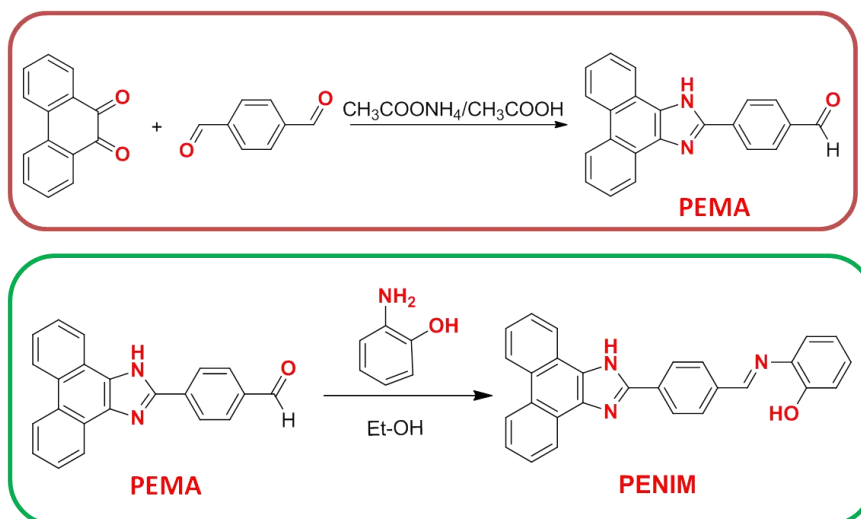
## 2.4. The procedures of Hg (II) determination

Initially, 10.0 mM ligand solution was dissolved in dimethylsulfoxide (DMSO) and diluted with EtOH and so the concentration of prepared ligand was obtained as 1.0  $\mu\text{M}$ . 3 mL of solution was added to a cuvette to evaluate detection of  $\text{Hg}^{2+}$ . Afterwards, probe solution (1.0  $\mu\text{M}$ ) was mixed to obtain homogenous mixture. Then, the fluorescence measurements of probe solutions was measured in the presence of other cation ions utilizing  $\lambda_{\text{ex}}=364$  nm,  $\lambda_{\text{em}}=442$  nm and slit widths=10 nm, 10 nm.

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Synthesize

To synthesize our designed sensor (**PENIM**), we first prepared **PEMA** according to previous literature. Afterwards, **PEMA** was reacted with hydroxy anyline using reflux system in dry EtOH at high yield. The prepared compound was analyzed utilizing  $^1\text{H}$ -NMR,  $^{13}\text{C}$ -NMR, FT-IR spectroscopy and elemental analyzer. The general procedure for synthesis is presented in **Scheme 1**.



### 3.2. Fluorescence studies

The fluorescence ability of the prepared **PENIM** (1.0  $\mu\text{M}$ ) in EtOH was evaluated in the presence of 10.0 equiv of a series of metal ions ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{3+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Pb}^{2+}$ ) employing fluorescence spectroscopy. Initially, the probe in EtOH controlled and displayed the highest fluorescence intensity at 442 nm in the absence of metal ions (Fig 3a). Afterwards, as depicted in Fig 3b, addition of  $\text{Hg}^{2+}$  to prepared **PENIM** in EtOH (1.0  $\mu\text{M}$ ) leads to the fluorescence complete quenching of emission band at 442 nm, but none of the other metal ions except  $\text{Hg}^{2+}$  displayed a remarkable change of the fluorescence intensity of fabricated probe at 442 nm. Furthermore, the fluorescence intensity of the designed sensor was tested in various solvents, including N,N-dimethyl formamide (DMF), ethanol (EtOH) and water, compared with acetonitrile ( $\text{CH}_3\text{CN}$ ) (Fig. 3b). Consequently, fabricated probe displayed the strong interaction with  $\text{Hg}^{2+}$  ions compared to other metal ions and this is as a result of the formation of the stable chelation between **PENIM** and  $\text{Hg}^{2+}$  through the phenolic oxygen and N atoms.

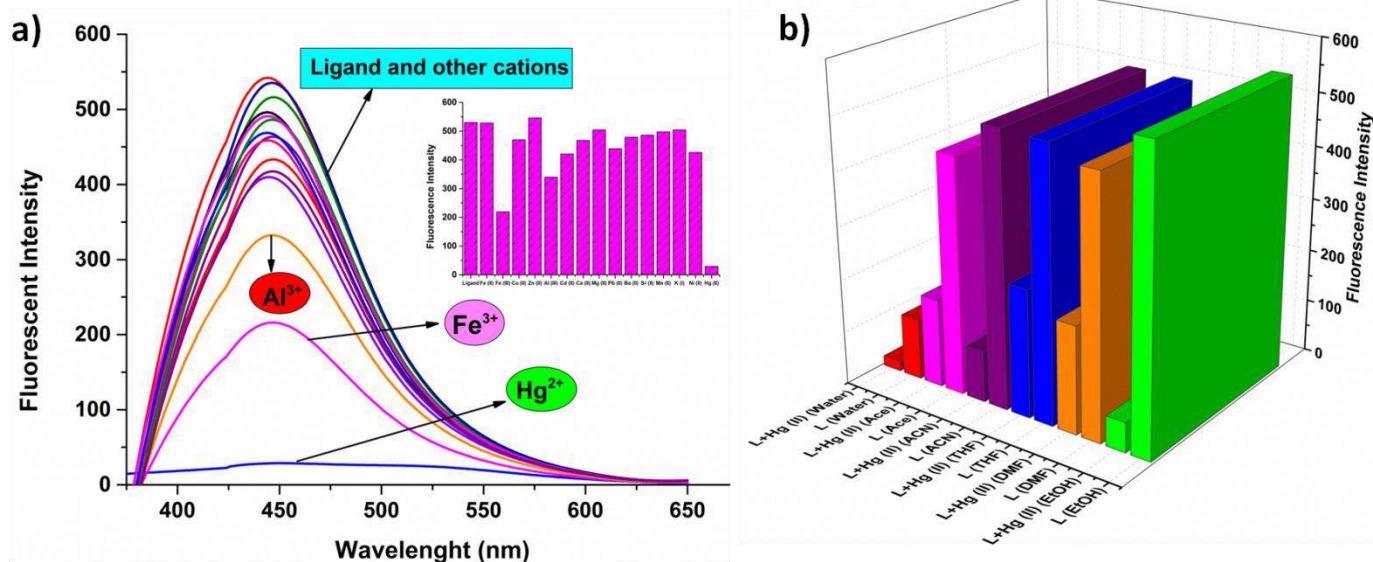


Figure 3. (a) Fluorescence spectra of **PENIM** in EtOH solution before and after addition of 10.0 equiv of various metal ions ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{3+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Pb}^{2+}$ ) and (b) fluorescence spectra of **PENIM** and **PENIM-Hg<sup>2+</sup>** in various solvents.

The chemosensing properties of the proposed sensor toward  $\text{Hg}^{2+}$  in EtOH were determined utilizing titration experiments. The fluorescence intensity of fabricated **PENIM** at 442 nm gradually decreased and quenched by the addition of varying amount of  $\text{Hg}^{2+}$  concentration from 0.0 up to 35.0 equiv. This quenching results from the complexation between **PENIM** and mercury (II) complex and this may be attributed due to heavy atom effect of transition metals (Fig. 4).

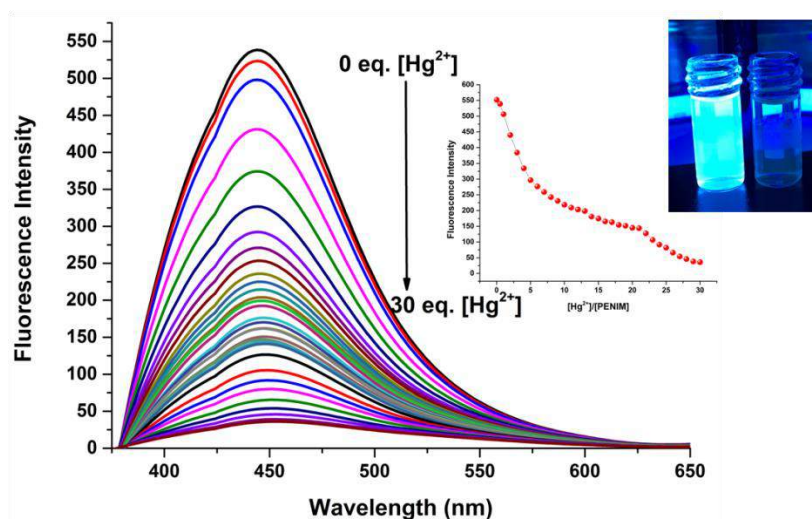


Figure 4. The fluorescence spectrum of **PENIM** with of increasing concentration of  $\text{Hg}^{2+}$  in EtOH ( $\text{ex}= 364 \text{ nm}$ ).

The binding constant of **PENIM** with mercury (II) has been determined employing Benesi–Hildebrand plot based on the fluorescence titration data and calculated to be  $1.119 \times 10^5 \text{ M}^{-1}$  (Fig. 5a). Moreover, according to a plot of the concentration of mercury ions versus fluorescence intensity at 412 nm, the detection limit (LOD) of for the detection of **PENIM** for  $\text{Hg}^{2+}$  based on  $3\sigma/k$  equation was found to be 2.1 nM and this value was much lower than the maximum allowed levels of mercury (II) in drinking water of U.S. EPA (2.0 ppm) and WHO (6.0 ppm) (Fig. 5b)(M. Li et al., 2013). To examine the binding stoichiometry between **PENIM** and  $\text{Hg}^{2+}$ , the Job’s plot was conducted and 2:1 stoichiometric complexation between **PENIM** and  $\text{Hg}^{2+}$  was obtained as a result of the maximum relative fluorescence intensity was around 0.66 (Fig. 6a).

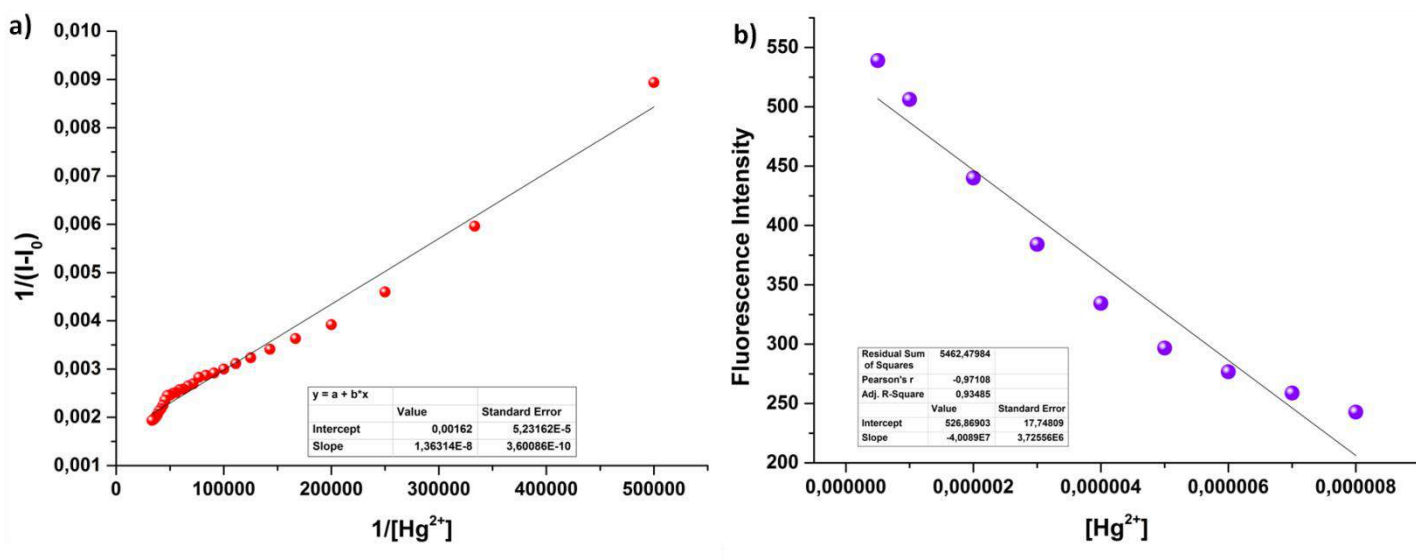


Figure 5. (a) Benesi–Hildebrand plots from fluorometric titration data of **PENIM** (1.0  $\mu\text{M}$ ) with  $\text{Hg}^{2+}$  and (b) The plot of emission intensities of **PENIM** at 412 nm versus with various  $\text{Hg}^{2+}$  concentrations.

The effects of other cations on the interaction of **PENIM** (1.0  $\mu\text{M}$ ) in EtOH with mercury (II) ions were examined by comparison experiments. These experiments were carried out by  $\text{Hg}$  (II) ions in the presence of 10.0 equiv of other metal ions. Other metal ions, except for  $\text{Fe}^{3+}$  and  $\text{Al}^{3+}$ , did not interfere with mercury (II) ions (Fig. 6b). It appears that **PENIM** is an effective fluorescence sensor for the detection of  $\text{Hg}^{2+}$  cations, even in the presence of many other metals.

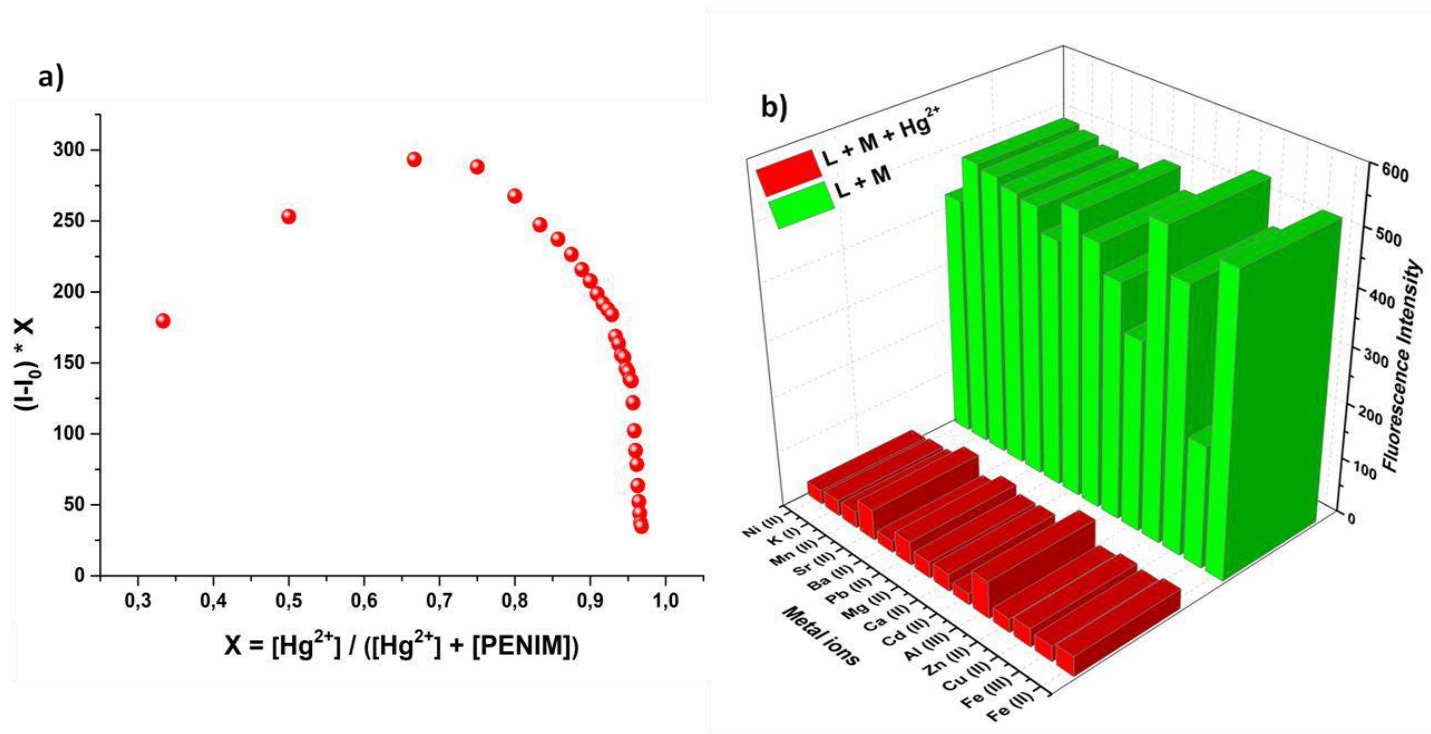


Figure 6. (a) Job's plot study of **PENIM** (1.0 μM) with Hg<sup>2+</sup> and (b) competition studies of **PENIM** with Hg<sup>2+</sup> in the presence of various metal ions at 412 nm in EtOH.

To confirm the optimized structure of the complexation, the density functional theory (DFT) calculations for obtaining computational experiments were carried out with B3LYP/6-31G(d) basis sets utilizing a suite of Gaussian 09 programs. The gaps of bands between HOMO (highest occupied molecular orbital) and LUMO (highest occupied molecular orbital) of **PENIM** and **PENIM-Hg<sup>2+</sup>** were found to be 3.4 eV and 2.76 eV respectively. These results revealed that the interaction between **PENIM** and Hg<sup>2+</sup> decreases the HOMO-LUMO energy gap of the complex and so the stabilized complex formation between **PENIM** and Hg<sup>2+</sup> was obtained (Fig. 7).

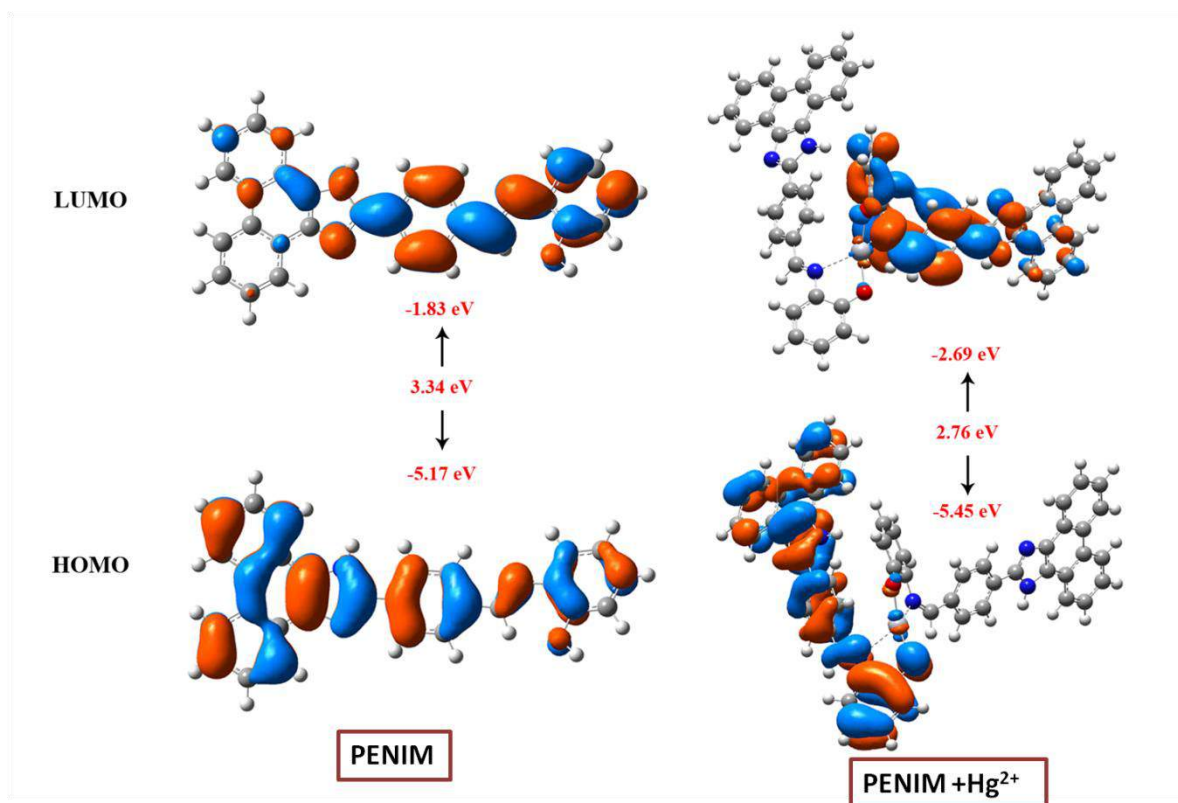


Figure 7. Electron density in HOMO and LUMO of **PENIM** and its complex with Hg<sup>2+</sup>.



In addition, **PENIM** and **PENIM-Hg<sup>2+</sup>** were characterized with FT-IR spectroscopy measurements. The band at 3321 cm<sup>-1</sup> is attributed to the characteristic vibration of the phenolic -OH and this band conforming **PENIM-Hg<sup>2+</sup>** formation via coordination between -OH and Hg<sup>2+</sup> disappears. Also, a band at 1585 cm<sup>-1</sup> proves the vibration of -CH bonding of shift base and shifts to higher frequency to 1643 cm<sup>-1</sup>. The above results display that the complexation **PENIM-Hg<sup>2+</sup>** formed via CHN group of shift base and OH group of **PENIM** (Fig 8).

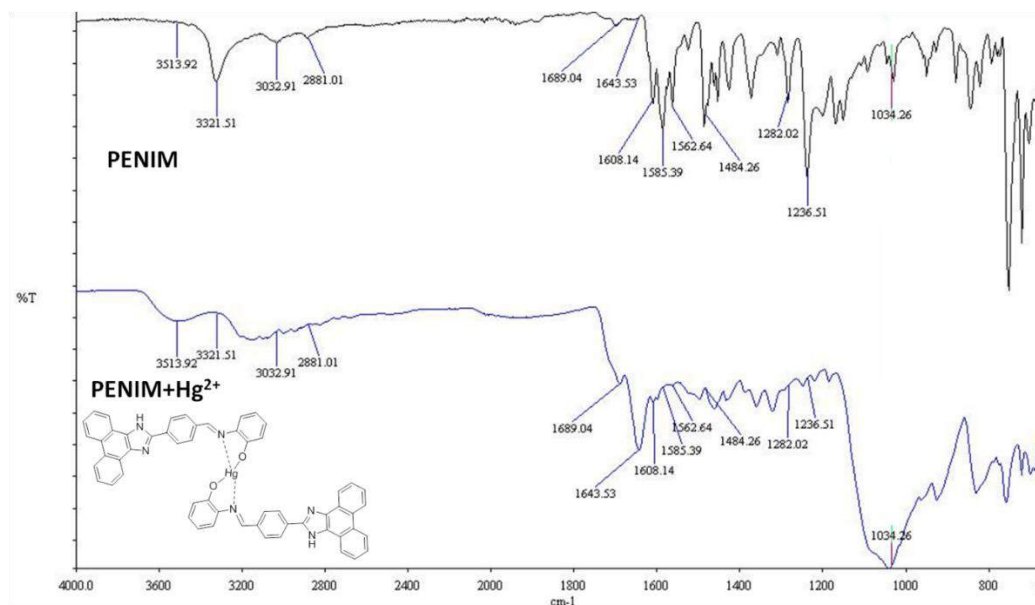


Figure 8. FT-IR spectrum of **PENIM** and **PENIM-Hg<sup>2+</sup>**

Response time is a very important parameter for various applications and real time monitoring, so low response time has advantages. Therefore, the binding process of mercury (II) ions to prepared **PENIM** was investigated to understand response time of this complexation process as shown in Fig. 9a. Fluorescence intensity of fabricated **PENIM-Hg<sup>2+</sup>** remains constant within 30s after the addition of Hg<sup>2+</sup> to the **PENIM** solution (1.0 μM) in EtOH.

Reversibility of a probe plays critical roles in judging its chances for practical applications. The reversibility of the Hg<sup>2+</sup> complexation with the **PENIM** employed reversible property allowed the detecting of various amounts of thiol containing cysteine amino acid. As shown in Fig 9b, when thiol containing cysteine was added to the Hg<sup>2+</sup> complexation with the **PENIM**, the fluorescence intensity raised. However, upon adding of the Hg<sup>2+</sup> solution again, it was observed that the intensity decreased again. These results clearly demonstrated that the reversibility of the Hg<sup>2+</sup> complexation with the probe can be easily regenerated for repeated use and gives a chance for utilizing practical applications.

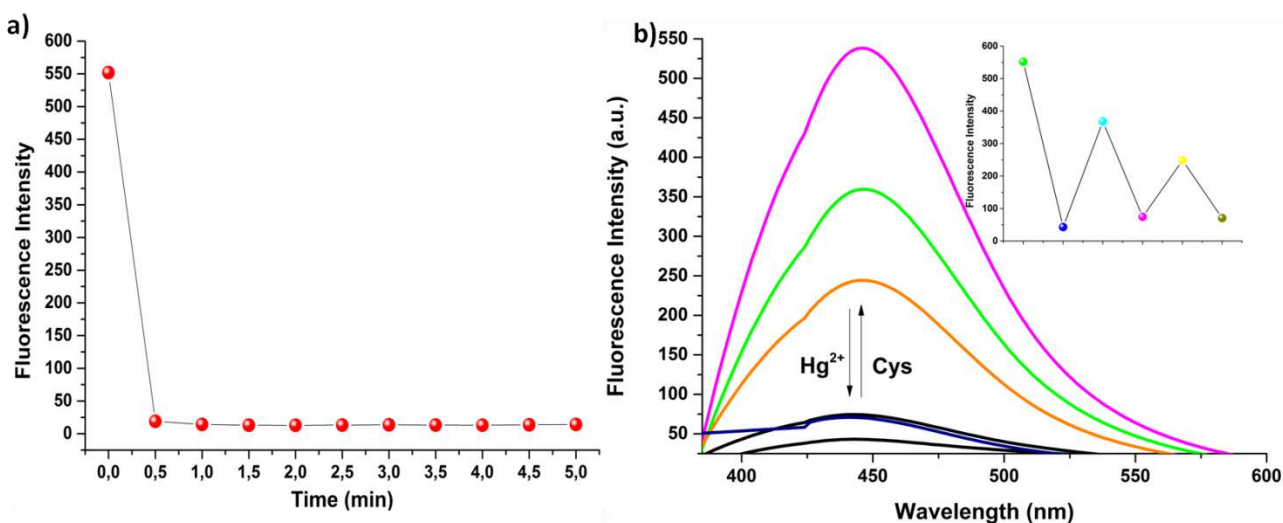


Figure 9. (a) Response time of **PENIM-Hg<sup>2+</sup>** complex (b) the reversibility of **PENIM** with Hg<sup>2+</sup> and Cys.



## 4. Conclusion

Herein, we reported the synthesis of a new reversible turn off-on fluorescence probe with high conversions. Fabricated **PENIM** showed high sensitivity and selectivity in determining of  $\text{Hg}^{2+}$  ions and reversible property for a mercapto containing biomolecule such as cysteine. The complexation between **PENIM** and  $\text{Hg}^{2+}$  was verified from fluorescence spectra, FT-IR spectroscopy and DFT calculations. The response time of the complexation is so fast and this quick respond time enables us an advantage to provide effective and selective determination of toxic  $\text{Hg}^{2+}$  in a low time. Also, prepared sensor could display reproducibility against  $\text{Hg}^{2+}$  and a mercapto containing biomolecule for example cysteine. These results indicate that the sensor could be utilized a promising sensor for biomedical applications.

## References

- Chen, G., Guo, Z., Zeng, G., & Tang, L. (2015). Fluorescent and colorimetric sensors for environmental mercury detection. *Analyst*, 140(16), 5400–5443. <https://doi.org/10.1039/c5an00389j>
- Chen, J. F., Han, B. B., Ma, J. F., Liu, X., Yang, Q. Y., Lin, Q., Wei, T. B. (2017). Pillar[5]arene-based fluorescent polymer for selective detection and removal of mercury ions. *RSC Advances*, 7(75), 47709–47714. <https://doi.org/10.1039/c7ra10326c>
- Chen, L., Yang, L., Li, H., Gao, Y., Deng, D., Wu, Y., & Ma, L. J. (2011). Tridentate lysine-based fluorescent sensor for Hg(II) in aqueous solution. *Inorganic Chemistry*, 50(20), 10028–10032. <https://doi.org/10.1021/ic200790g>
- Guo, C., & Irudayaraj, J. (2011). Fluorescent Ag clusters via a protein-directed approach as a Hg(II) ion sensor. *Analytical Chemistry*, 83(8), 2883–2889. <https://doi.org/10.1021/ac1032403>
- Han, B., Yuan, J., & Wang, E. (2009). Sensitive and selective sensor for biothiols in the cell based on the recovered fluorescence of the CdTe quantum dots-Hg(II) system. *Analytical Chemistry*, 81(13), 5569–5573. <https://doi.org/10.1021/ac900769h>
- Jiao, Y., Zhang, L., & Zhou, P. (2016). A rhodamine B-based fluorescent sensor toward highly selective mercury (II) ions detection. *Talanta*, 150, 14–19. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.11.065>
- Karuk Elmas, Ş. N., & Yilmaz, I. (2018). A Turn off-on Fluorescent Chemosensor for Sequential Determination of Mercury and Biothiols. *Journal of Fluorescence*, 28(6), 1451–1458. <https://doi.org/10.1007/s10895-018-2320-6>
- Li, G., Ma, L., Liu, G., Fan, C., & Pu, S. (2017). A diarylethene-based “on-off-on” fluorescence sensor for the sequential recognition of mercury and cysteine. *RSC Advances*, 7(33), 20591–20596. <https://doi.org/10.1039/c6ra27773j>
- Li, M., Zhou, X., Ding, W., Guo, S., & Wu, N. (2013). Fluorescent aptamer-functionalized graphene oxide biosensor for label-free detection of mercury(II). *Biosensors and Bioelectronics*, 41(1), 889–893. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2012.09.060>
- Li, Q., Wang, C., Tan, H., Tang, G., Gao, J., & Chen, C. H. (2016). A turn on fluorescent sensor based on lanthanide coordination polymer nanoparticles for the detection of mercury(II) in biological fluids. *RSC Advances*, 6(22), 17811–17817. <https://doi.org/10.1039/c5ra26849d>
- Lin W., Long L., Yuan L., Cao Z., Chen B., and Tan W., (2008). A Ratiometric Fluorescent Probe for Cysteine and Homocysteine Displaying a Large Emission Shift, *Org. Lett.*, 10(24), 5577–5580. <https://doi.org/10.1021/ol802436j>.
- Taki, M., Akaoka, K., Iyoshi, S., & Yamamoto, Y. (2012). Rosamine-based fluorescent sensor with femtomolar affinity for the reversible detection of a mercury ion. *Inorganic Chemistry*, 51(24), 13075–13077. <https://doi.org/10.1021/ic301822r>.



# Doğal Olarak Yayılış Gösteren *Lepidium draba* L. Türünün Fitoremediasyon Yönteminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Dudu Duygu Kılıç<sup>1</sup>, Burak Sürmen<sup>2\*</sup>, Hamdi Güray Kutbay<sup>3</sup>, Emine Ebru Tuna<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Amasya Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Amasya, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6425-6062)

<sup>2</sup> Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Kamil Özdağ Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Karaman, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4055-613X)

<sup>3</sup> Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Samsun, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9511-9159)

<sup>4</sup> Amasya Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Amasya, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6425-6062)

(İlk Geliş Tarihi 25 Eylül 2019 ve Kabul Tarihi 28 Ekim 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.624424)

**ATIF/REFERENCE:** Kılıç, D. D., Sürmen, B., Kutbay, H. G. & Tuna, E. E. (2019). Doğal Olarak Yayılış Gösteren *Lepidium draba* L. Türünün Fitoremediasyon Yönteminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 491-499.

## Öz

Çalışmanın amacı doğal olarak yayılış gösteren *Lepidium draba* L., türünün fitoremediasyon yönteminde kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Bu çalışmada Amasya ilinde şehir içi, otoyol, kenar semt ve kontrol olmak üzere 4 lokaliteden 5 farklı örnekleme yapılmıştır. Bitki örnekleri, 2015-2016 yıllarında Ağustos ayı sonunda (vejetatif dönemin sonu) toplandı. Toprakta ortalama olarak ağır metal birikim miktarları Fe > Mn > Co > Ni olarak tespit edilmiştir. Buna göre en yüksek ağır metal konsantrasyonları, trafik yoğunluğu olan şehir içinde bulunmuştur. Topraklarda zenginleşme faktörüne göre, Fe ve Mn belirgin zenginleşme sınıfına girmektedir. Jeobirikim indeksine göre; örnek alınan alanlar Ni, Co, Mn bakımından kirlenmemiş, Fe bakımından ise yol kenarı, kenar semt ve kontrol grubunda orta derece kirlenmiş iken şehir içinde orta-çok kirlenmiş olarak sınıflanmaktadır. Bitkide ortalama olarak ağır metal birikim miktarları Fe > Mn > Ni > Co olarak tespit edilmiştir. Ni bitki ve toprakta toksik sınırın altında, Fe bitkide ve toprakta sınır değer üstüne, Co bitkide ve toprakta sınır değer üstüne, Mn ise toprakta sınır değerinin altında iken şehiriçi, yol kenarı ve kenar semt lokalitelerinde toksik sınırın üstünde bulunmuştur. *L.draba* Ni ve Fe'nin köklerde birikimi, Co ve Mn ise yaprakta birikimin daha yüksek olduğu görülmektedir. Trafik yoğunluğunun yüksek olduğu şehir içinde ağır metal birikimi daha yüksek bulunmuştur. Şehir merkezinde (BCF > 1) 1' den daha yüksek BCF değerleri bulunmuş olup, yol kenarında Co dışında diğer elementlere ait BCF ve TF değeri 2'nin üstündedir. Şehir merkezi ve yol kenarında en fazla akümüle edilen element Fe olarak bulunmuştur. Buna göre *L. draba* türünün TF ve BCF değerleri yüksek bulunmuş olup bitkinin hiperakümülatör özelliklerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *L. draba*, Ağır metal, hiperakümülatör, Amasya, Türkiye.

## Investigation of Heavy Metal Accumulation and Biomonitoring of *Lepidium draba* L. Species Growing in Amasya (Turkey) Province

### Abstract

The aim of study was to investigate the usability of the naturally growing *Lepidium draba* L. species in phytoremediation method. Five different samples were taken from four different localities (city centre, highway, suburban and control) in Amasya. Plant samples were collected at the end of the vegetative period of the *Lepidium draba* in 2015-2016. The average concentration of heavy metal accumulation in the soil was determined as Fe > Mn > Co > Ni. Accordingly, the highest heavy metal concentrations were found in the

\* Sorumlu Yazar: Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Kamil Özdağ Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0000-0000-0000, [buraksurmen@gmail.com](mailto:buraksurmen@gmail.com)

city. According to the soil enrichment factor, Fe and Mn belong to significant enrichment class. The sample areas considering geo-accumulation index are uncontaminated with Ni, Co, Mn, but roadside, suburban and control sample areas are moderately contaminated with Fe, the city sample area is contaminated with Fe as moderately and highly. The average amount of heavy metal accumulation in the plant was determined as Fe>Mn>Ni>Co. Ni concentrations were found below the toxic limit in plant and soil, Fe concentrations were found above the limit value in plants and soil, Co concentrations were found above the limit value in plants and soil. While Mn concentration was below the limit value in soil, it was found above the toxic limit in urban, roadside and suburbs. Ni and Fe accumulations were detected high concentrations in roots and Co and Mn accumulations were detected high concentrations in leaves. Heavy metal accumulation was found to be higher in the city due to high traffic density. BCF values were calculated higher than one in the city center and BCF and TF values of other elements except Co were calculated above two. The most accumulated element was found as Fe in the city center and roadside. As a result, TF and BCF values and hyperaccumulatory properties of *L. draba* were found to be high.

**Keywords:** *L. draba*, heavy metal, hyperaccumulator, Amasya, Turkey.

## 1. Giriş

Ağır metal kirliliği en önemli çevre kirliliklerinden biridir. Fiziksel özellik açısından yoğunluğu 5 gr/cm<sup>3</sup>' ten daha yüksek olan metaller ağır metaller olarak adlandırılır ve doğada Bakır (Cu), Demir (Fe), Çinko (Zn), Kurşun (Pb), Civa (Hg), Kobalt (Co), Krom (Cr), Nikel (Ni) ve Kadmiyum (Cd) başta olmak üzere 53'den fazla ağır metal bulunmaktadır (Kılıç, 2019). Ağır metalleri canlılar için gerekli olan ve olmayan şeklide sınıflandırmak mümkündür. Bu elementlerin bir kısmı canlılık faaliyetleri için gerekli iken yüksek dozda toksik etki gösterebilmektedirler (Doğan ve ark., 2018). Genellikle ağır metaller doğaya, doğal yollarla yani ağır metal içeren kayalardan ve madenlerden karışmaktadır. Yapay yollarla karışması ise daha çok endüstri, tarımsal faaliyetler ve trafik yolu ile olup, gün geçtikçe artan hava, su ve toprak kirliliğe neden olmaktadır (Demirayak ve ark., 2019). Kirlenmiş toprak ve havadan bulaşan ağır metaller besin zinciri yoluyla tüm canlıları tehdit etmektedir. Toprakta alınan ağır metallerin bitkilerin doku ve organlarında birikmesi, bitkilerin vejetatif ve generatif organlarının gelişimini olumsuz etkilemektedir. Ayrıca bitkilerde transpirasyon, stoma hareketleri, su alımı, fotosentez, enzim aktivitesi, çimlenme, protein sentezi, membran stabilitesi, hormonal denge gibi pek çok fizyolojik olayın da olumsuz olarak etkilenmesine sebep olmaktadır (Doğan, 2018). Örneğin; bitkide gereğinden fazla bulunan Ni, klorofil sentezi ve yağ metabolizması üzerine olumsuz etki yapar, bitki köklerinin diğer besin elementlerini almasını engelleyerek besin elementleri noksanlıklarının ortaya çıkmasına neden olur (Asri ve Sönmez, 2006). Yine bitkide fotosentez reaksiyonlarında görev alan mangan eksikliğinde bitkinin lipit kapsamı ve tohum bileşiminde büyük değişiklikler görülür. Mn toksitesinde ise vejetatif ve generatif organların gelişimi yavaşlar ve N fiksasyonu engellenir (Kaçar ve Katkat, 2010). Canlılarda demir önemli elementlerden biridir hemoglobinin ve enzimlerin yapısına katılarak DNA sentezi, solunum ve fotosentez gibi metabolik süreçlerde önemli rol oynar. Bitkilerde klorofil yapımını destekler ve N fiksasyonunda görev alır. Fe toksitesinde bitkide vejetatif ve generatif yapılarda gelişme geriliği görülmektedir. Kobaltın insanlar, hayvanlar ve prokaryotlar için temel bir element olduğu uzun yıllardır bilinmesine rağmen, bu element için daha yüksek bitkilerde biyolojik bir fonksiyon tanımlanmamıştır (Oven ve ark., 2002). Son yıllarda bazı çalışmalarda Fitoflatin (PC) Sentaz enziminin yapısına katıldığı bildirilmiştir (Vatamaniuk ve ark., 2000) olsa da diğer çalışmalar bu veriyi desteklememektedir (Oven ve ark., 2002). Kobalt PC-sentazı aktive etmediğinden, bitkiler kobalt iyonlarının hücresele proteinler üzerindeki toksik etkisini önlemek için farklı bir detoksifikasyon mekanizması geliştirmiş olmalıdır. Ağır metaller küresel kirlilik faktörü olarak tüm canlılar üzerinde büyük tehlike oluşturmaktadır. Ağır metaller, insanlar tarafından maruz kalınan doz oranı, kişinin bağışıklık ve genel sağlık durumu gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak insanlarda başta kanser olmak üzere birçok hastalığın başlama ve ilerlemesinde etken olmaktadır (Kabata-Pendias ve Dudka, 1991).

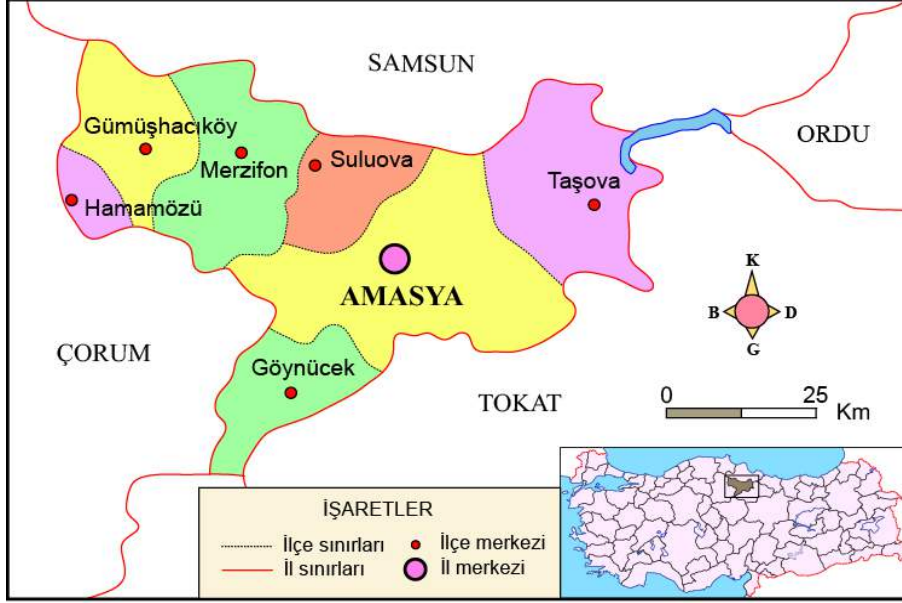
Ağır metal ile kirlenmiş toprakları ve su kaynakları rehabilite etmek için fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler kullanılmaktadır. Fiziksel ve kimyasal yöntemler hem pahalı hem de yeniden doğayı kirletebilecek yöntemleri içermektedir (Luu ve ark., 2009). Biyolojik yöntemlerde canlıların kullanılması hem ucuz hem de çevre dostu bir yöntem olarak bilinmektedir. Ağır metallerle kirlenmiş alanların iyileştirilmesinde kullanılan pahalı ve daha fazla uğraş gerektiren geleneksel mühendislik yöntemleri olan remediasyon teknikleri yerine (Salt ve Rausser, 1995) son yıllarda maliyeti daha düşük teknik, çevre dostu olan yeşil ıslah (fitoremediasyon) teknolojisi kullanılmaktadır. Fitoremediasyonun, kirlenmiş doğal ortamların iyileştirilmesi için etkin bir yöntemdir (Garbisu ve ark., 2002). Hiperakümülatörler, canlı dokularında belirli metalleri veya metaloidleri, çoğu bitkiden normalden yüzlerce veya binlerce kat daha fazla olan seviyelerde biriktiren sıra dışı bitkilerdir (Reeves, 1983; van der Ent ve ark., 2016). Bu bitkiler sürgünlerinde metalleri biriktirerek metallere karşı aşırı tolerans gösterirler (McGrath ve ark., 2001). Bir hiperakümülatör bitkinin sınıflandırılması için bir başka gereklilik, bitkilerde bulunan konsantrasyonların kirlenmemiş ortamlarda yetişen bitkilerden 10 ila 500 kat daha yüksek olması gerektiğidir (Yanqun ve ark., 2005).

Literatürde 400'den fazla hiperakümülatör bitki türü olduğu belirtilmektedir. Hiperakümülatör bitkilerin, o çevredeki doğal bitki örtüsünün bir elemanı olması tercih edilmelidir. Bir hiperakümülatör bitkinin topraktan uzaklaştırdığı ağır metal miktarı, bitkinin dokularında biriktirdiği metalin derişiminin, bitkinin ürettiği biyokütle miktarına bölünmesiyle bulunur (Macek ve ark., 2008). Fitoremediasyon; çevrede bulunan kirleticilerin alınmasında veya bu kirleticilerin etkisiz hale getirilmesinde hiperakümülatör bitkilerin kullanılmasıdır. Fitoremediasyon kapsamında söz konusu olan yöntemler; fitoekstraksiyon, fitostabilizasyon, fitovolatilizasyon, Rizodegradasyon, fitodegradasyon, rizofiltrasyon olarak adlandırılırlar (Yoon ve ark., 2006). Bu çalışmanın amacı, Amasya ilinde doğal olarak yayılış gösteren *Lepidium draba* L., türünün fitoremediasyon yönteminde kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Araştırma alanı

Bu çalışma, Türkiye'nin Orta Karadeniz Bölgesi'nde yer alan Amasya ilinde gerçekleştirilmiştir. Araştırma alanının denizden ortalama yüksekliği 412 m'dir. Türkiye'nin Karadeniz bölgesinde bulunan Amasya ili 34°57'06" - 36°31'53" doğu boylamları ile 41°04'54" - 40°16'16" kuzey enlemleri arasında yer alır (Şekil 1). Amasya İlinde meydana gelen hava kirliliğinin nedenleri, ısınmada kullanılan yakıtlar, motorlu taşıtlardan kaynaklanan egzoz gazı emisyonları, sanayiden kaynaklanan emisyonlar olarak sıralanabilir. Şehir içinde dağlar nedeni ile hava akımı daha az olduğu için hava kirliliği şiddetli yaşanmaktadır ayrıca Amasya ilinde çevre yolunun olmaması şehir içi trafiği arttırmakta dolayısı ile trafik kaynaklı kirlilik oranı artmaktadır.



Şekil 1. Araştırma alanının haritası

### 2.2. *Lepidium draba*'nın morfolojik karakterleri

*Lepidium draba*, Brassicaceae familyasına ait çok yıllık 15-90 cm uzunluğunda sürünen bir yabancı ottur. Bu yabancı ot temelde Balkan Yarımadası, Gürcistan, Ermenistan, İsrail, Rusya, Türkiye ve Güney Avrupa'ya özgüdür. Genellikle Killi-kumlu, nemli topraklarda ve gölge kısımlarda hızlı büyüyen bir bitkidir. Yol kenarı, hendek kıyıları, meralar gibi nemli yerlerde yetişen bir bitki türüdür (Afzal ve ark., 2016). Yaprakları dikdörtgensel, sivri uçlu, düzensiz derin dişli, grimsi yeşil renkli olup, gövdeyi sarar ve yaprak kenarları dişlidir. Çiçekleri nisan, mayıs ve haziran aylarında ayında açar, beyaz ve hermafrodit'tir. Çiçekler çok dallı, şemsiyemsi kümeler oluşturan, yoğun öbekler halinde ve küçüktür. *L. draba* meyvesi 3-4 mm uzunluğundadır ve ters çevrilmiş bir kalp şeklindedir (Scurfield, 1962).

### 2.3. Bitki örnekleme

Bitki örnekleme 2015-2016 yıllarında bitkinin vejetatif döneminin sonu olan Ağustos ayında; şehir içi, otoyol, kenar semt ve kontrol olmak üzere 4 lokaliteden 5 farklı örnekleme yapılmıştır. Her bir noktanın koordinatları, GPS (Global Positioning System) konumlandırma sistemi) aleti ile tespit edilip kaydedilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Araştırma yapılan alanlar

Lokalite	Koordinat	Trafik yoğunluğu
Amasya Suluova Otoyolu	40°45'09.5"N 35°44'05.4"E	Otomobil, Orta Yüklü Ticari Taşıt Otobüs, Kamyon Kamyon+Römork,Çekici+Yan Römork (8515+441+310+887+1138=11291)
Şehir içi	40°40'06.4"N 35°50'36.2"E	Otomobil, Orta Yüklü Ticari Taşıt Otobüs, Kamyon Kamyon+Römork,Çekici+Yan Römork (12203+1461+161+1763+613= 16201)
Kenar Semt (Orman Bağları)	40°36'09.9"N 35°48'48.5"E	Dakikada 3-5 araç
Kontrol (Aydınca kırsalı)	40°45'09.5"N 35°44'05.4"E	Trafik Yok

### 2.4. Hesaplamalar ve istatistik analizler

Örneklerden elde edilen veriler SPSS 15 paket programı kullanılarak analiz edildi. Şehir içi, yol kenarı, kenar semt ve kontrol (trafik olmayan alan) lokalitelerinin toprak ve bitki değişkenlerindeki farklılıkları karşılaştırmak için tek yönlü varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. İkili karşılaştırmalarda Anlamlı farklılıkların hangi değişkenler arasında olduğunu belirlemek amacıyla

Tukey HSD testi kullanılmıştır. Topraktaki ağır metaller ile bitki kökü ve sürgündeki ağır metaller arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için basit doğrusal korelasyon katsayısı kullanılmıştır.

Toprak ağır metal zenginleştirme faktörü (ZF), Topraktaki antropojenik katkı sebebiyle oluşmuş ağır metal kirliliğini belirlemek için kullanılan bir göstergedir (Buat-Menard ve Chesselet, 1979; Barbieri, 2016; Özkul ve ark., 2018).

$$ZF = (Cn/Cref)_{\text{örnek}} / (Bn/Bref)_{\text{referans}}$$

Formülde, Cn: Analizi yapılan örnekteki elementin değeri; Cref: Analizi yapılan örnekteki referans elementin değeri; Bn: Brooks (1972)'a göre elementin topraktaki ortalama değeri; Bref: Brooks (1972)'a göre referans elementin topraktaki ortalama değeri olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada referans element olarak Mn kullanılmıştır.

Jeo birikim İndeksi (Geoaccumulation Index, Igeo), topraktaki ağır metal kirlilik seviyesini ölçmek için endüstrileşme öncesi element değerlerinin günümü değerleri ile karşılaştırmak için Müller (1969) tarafından önerilmiştir (Barbieri, 2016).

$$I_{geo} = \log_2(Cn / (1.5 * Bn))$$

Burada Cn: Çalışılan örnekteki ağır metal konsantrasyonu, Bn: n metalinin topraktaki ortalama değeri Brooks (1972) olarak ifade edilir.

Fitoremediasyon amacıyla yetiştirilecek bitkilerin seçiminden BCF ve TF değerleri ile değerlendirilir. Bitkilerce element alımlarının büyüklüğü, Biriktirme Faktörü (Bioconcentration factor, BCF) cinsinden ifade edilmektedir. Biriktirme faktörü bitkideki ağır metal derişiminin, topraktaki ağır metal derişimine oranlanmasıyla hesaplanmaktadır (Ladislas ve ark., 2012).

Biyokümülyasyon faktörü (BCF) = Hasat edilen bitkideki ağır metal derişimi/Toprak ağır metal derişimi

Bitkilerin metal alım ölçüsünü ifade eden diğer bir gösterge ise Taşıma Faktörü'dür (Translocation Factor, TF). Taşıma faktörü ağır metallerin kökten üst organlara doğru hareketinin bir göstergesidir ve bitkinin gövdesindeki ağır metal derişiminin, kökteki oranlanmasıyla hesaplanmaktadır (Padmavathamma ve Li, 2007).

Translokasyon faktörü (TF) = Sürgün ağır metal derişimi/Kök ağır metal derişimi

### 3. Araştırma Sonuçları

Çalışılan lokalitelerde toprak ve bitki türünün toplam ağır metal içerikleri ve Tukey's HSD testi sonuçları tablo 2'de verilmiştir. Toprakta ortalama olarak ağır metal birikim miktarları Fe>Mn>Co>Ni olarak tespit edilmiştir. Buna göre en yüksek ağır metal konsantrasyonları, trafik yoğunluğunun meydana geldiği şehir merkezinde bulunmuştur (Şekil 2). Toprakta ise Ni kontrol grubunda, Fe şehir merkezinde, Co ve Mn yol kenarında yüksek olup toprak pH'sı yol kenarında ki topraklarda yüksek bulunmuştur. Şehir içi ve otoyol kenarındaki ağır metal içeriklerinin farklılıkları ise önemli bulunmuştur.

**Tablo 2.** *L.draba* türünün yetiştiği topraklardaki ağır metal miktarı (ppm) ve lokalitelere göre ağır metal değerlerinin farklılıklarına ait Tukey testi sonuçları (Küçük harfler P<0.05 düzeyinde farklılıkları gösterir)

	Bitki					Toprak				
	N	Ni	Fe	Co	Mn	Ni	Fe	Co	Mn	pH
<b>Kontrol</b>	60	2.86c	6.33c	1.79c	40.83d	3.37a	44.12d	3.69b	78.62bc	7.67c
<b>Kenar semt</b>	60	4.46c	26.79c	3.72b	118.87c	2.68b	53.79c	3.37b	67.86c	7.82b
<b>Otoyol kenarı</b>	60	14.98b	4936.34b	2.79ab	270.57b	3.32a	442.19b	4.30a	96.72a	8.12a
<b>Şehir içi</b>	60	32.25a	11100.36a	9.19a	556.57a	2.86b	510.16a	4.24a	89.87ab	7.53d

Topraklarda Zenginleşme Faktörü, Sutherland (2000) tarafından "EF<2; Minimal zenginleşme, 2≤EF≤5; Orta zenginleşme, 5≤EF≤20; Belirgin zenginleşme, 20≤EF≤40; Çok yüksek zenginleşme, EF>40; Aşırı zenginleşme" şeklinde sınıflandırılmıştır. Buna göre çalışmamızda topraktaki Fe ve Mn belirgin zenginleşme sınıfına girmektedir. Endüstri öncesi ve sonrası kirlilik karşılaştırması yapan Jeobirikim indeksi 7 kategoriye ayrılmıştır. Buna göre Igeo<0; kirlenmemiş, 0<Igeo<1; Kirlenmemiş-orta derecede kirlenmiş; 1<Igeo<2 Orta derecede kirlenmiş; 2 <Igeo<3Orta-çok kirlenmiş; 3<Igeo< 4; Çok kirlenmiş, 4 <Igeo<5Çok-aşırı kirlenmiş, Igeo>5; Aşırı kirlenmiş şeklinde sınıflandırılmıştır (Müller, 1969; Özkul ve ark., 2018). Bu çalışmada jeobirikim indeksine göre örnek alınan alanlar Ni, Co, Mn bakımından kirlenmemiş, Fe bakımından ise yol kenarı, kenar semt ve kontrol grubunda orta derece kirlenmiş iken şehir içinde orta-çok kirlenmiş olarak sınıflanmaktadır (Tablo 3).

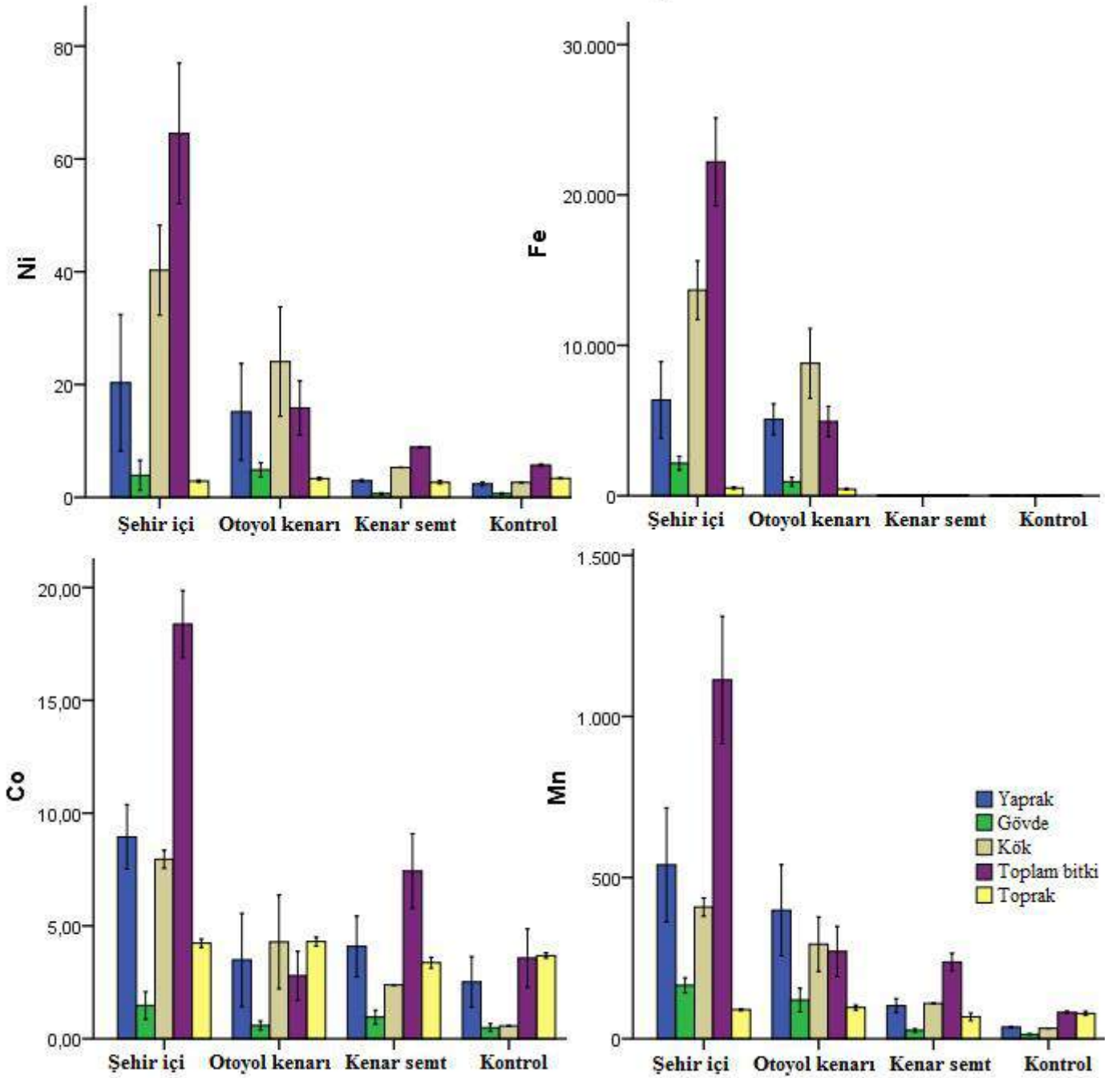
**Tablo 3.** Lokalitelere göre toprakların zenginleşme faktörü (ZF), Jeobirikim (Igeo değeri)

Lokale	Şehir içi	Ototol kenarı	Kenar semt	Kontrol
<b>ZF-Ni</b>	0.3523	1.0310	1.1587	1.2517
<b>ZF-Fe</b>	7.4289	14.3872	17.5549	3.5452
<b>ZF-Co</b>	0.4797	1.1563	1.3338	1.4194
<b>ZF-Mn</b>	9.6068	24.7949	27.6713	30.8179
<b>Igeo-Ni</b>	-4.4791	-4.2394	-4.6817	-4.1674
<b>Igeo-Fe</b>	2.1837	1.9436	1.8034	1.5555



Igeo-Co	-1.8580	-1.8331	-2.2249	-2.0363
Igeo-Mn	-3.8463	-3.7973	-4.8077	-4.0860

Araştırılan alandan alınan toprak değerleri ile *L. draba* türünün kök gövde ve yapraklarında yapılan ağır metal analiz sonuçları aşağıda verilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2: *L.draba* türünün lokalitelere göre bitkide ve toprakta biriken ağır metal miktarları Ni, Fe, Co, Mn (ppm)

Bitkide ortalama olarak ağır metal birikim miktarları  $Fe > Mn > Ni > Co$  olarak tespit edilmiştir. *L.draba* Ni ve Fe'nin köklerde birikimi, Co ve Mn ise yaprakta birikimin daha yüksek olduğu görülmektedir. Trafik yoğunluğunun yüksek olduğu şehir içinde ağır metal birikimi daha yüksek bulunmuştur. ANOVA sonuçları Tablo 4'de özetlenmiştir. Sonuçlara göre, ağır metal içerikleri bitki organları ve lokaliteler arasında önemli ölçüde değişmiştir. Toprak ağır metal içerikleri ise Fe içeriği dışında önemli bulunmamıştır ( $P > 0.05$ ). Çalışılan türün kök, gövde ve yaprakları arasında Ni, Fe, Co ve Mn elementleri bakımından arasında istatistiksel olarak farklar bulunmaktadır (Tablo 4).

**Tablo 4.** Bitki kısımları ve lokaliteler dikkate alınarak yapılan çok yönlü ANOVA analizi sonuçları (\*\*p<0,01,\* p<0,05)

Kaynak	Bağımlı değişken	Tip III Kareler toplamı	df	Ortalama kareler	F değeri	Önemlilik
Bitki kısmı	Ni	15416.7	3	5138.9	44.56	0.00**
	Fe	1331490572	3	443830190.6	81.98	0.00**
	Co	1570.03	3	523.34	115.56	0.00**
	Mn	3675763.69	3	1225254.56	55.74	0.00**
	Toprak Ni	0.95	3	0.32	0.42	0.74
	Toprak Fe	1199.44	3	399.81	3.46	0.01**
	Toprak Co	2.13	3	0.71	1.32	0.26
	Toprak Mn	1750.79	3	583.6	0.6	0.61
	pH	0	3	0	0.8	0.49
Lokalite	Ni	32935.56	3	10978.52	95.2	0.00**
	Fe	4981585813	3	1660528604	306.71	0.00*
	Co	1969.23	3	656.41	144.94	0.00**
	Mn	9318951.01	3	3106317	141.32	0.00**
	Toprak Ni	20.82	3	6.94	9.06	0.00**
	Toprak Fe	19961.33	3	6653.78	57.51	0.00**
	Toprak Co	36.07	3	12.02	22.31	0.00**
	Toprak Mn	29017.56	3	9672.52	9.88	0.00**
	pH	11.46	3	3.82	36660.8	0.00**
Bitki kısmı * Lokalite	Ni	18871.78	9	2096.86	18.18	0.00**
	Fe	2615594437	9	290621604.1	53.68	0.00**
	Co	1180.21	9	131.13	28.96	0.00**
	Mn	4578370.24	9	508707.81	23.14	0.00**
	Toprak Ni	12.27	9	1.36	1.78	0.07
	Toprak Fe	3018.55	9	335.4	2.9	0.00**
	Toprak Co	6.49	9	0.72	1.34	0.21
	Toprak Mn	7361.66	9	817.96	0.84	0.58
	pH	0	9	0	0.8	0.61

**Tablo 5.** Biyokonsantrasyon faktörleri (BCF), Translokasyon faktörleri (TF) ve Zenginleştirme Faktörleri (ZF) değerleri ve ANOVA testi (\*\*p<0,01,\* p<0,05)

Lokalite	Şehir içi	Otoyol kenarı	Kenar semt	Kontrol	F değeri	Önemlilik.
TF-Ni	0.7367	1.01	0.68	1.15	1.772	0.163
TF-Fe	0.6835	0.73	0.43	0.82	5.401	0.002**
TF-Co	1.3172	1.45	2.12	5.36	9.92	0.00**
TF-Mn	1.7498	1.95	1.17	1.55	3.19	0.03*
BCF-Ni	12.43	5.64	1.9	0.87	34.364	0.00**
BCF-Fe	23.35	12.24	0.51	0.14	154.206	0.00**
BCF-Co	2.3	0.82	1.25	0.47	27.756	0.00**
BCF-Mn	6.47	3.00	2.48	0.58	44.522	0.00**
ZF-Ni	8.4765	6.0269	1.3467	0.9082	9.119	0.00**
ZF-Fe	16.7258	13.5859	0.3037	0.1301	45.418	0.00**
ZF-Co	2.4572	.9482	1.4985	0.8154	14.331	0.00**
ZF-Mn	7.8437	5.3488	1.8917	0.6319	24.743	0.00**

Biyokonsantrasyon faktörleri (BCF), Translokasyon faktörleri ve Zenginleştirme Faktörleri değerleri ve ANOVA testi Tablo 5'te özetlenmiştir. BCF, bitkilerde metal birikim etkinliğinin değerlendirilmesi için ve TF ise bitkinin köklerinden üst organlarına metallerin yerini değiştirme kapasitesini değerlendirmek için kullanılır. Aşırı biriktirici (hiperakümülatör) bitkilerde TF>1 olması her zaman esastır. TF ise bitkinin köklerinden üst organlarına metallerin yerini değiştirme kapasitesini değerlendirmek için kullanılır. Buna göre Ni elementinin yol kenarında Co ve Mn elementlerin ise tüm lokalitelerde üst organlara taşınabildiği tespit edilmiştir. TF>1, verimli metal taşıma sistemleri\_nedeniyle besin maddelerini\_köklerden sürgünlere taşımada çok verimli bir yetenek olduğunu göstermektedir.

BCF değeri ne kadar yüksekse, fito-ekstraksiyon için o kadar uygun bir bitki olduğu bildirilmiştir (Blaylock ve ark., 1997). BCF değerleri ikiden büyükse yüksekdeğer olarak kabul edilir (Mellem ve ark., 2012). Zayed ve ark. (1998) ise BCF dört kategoriye ayırmışlardır buna göre  $<0,01$  akümülatör özelliğine sahip olmayan bitkiler,  $0,01-0,1$  düşük derecede akümülatör özelliğine sahip bitkiler,  $0,1-1,0$  orta derecede akümülatör olan bitkiler,  $1-10$  yüksek derecede akümülatör özelliğine sahip ya da hiper akaümülatör bitkilerdir. Bu oran kullanılarak, topraktaki elementlerin bitki tarafından emilimi gösterilebilmekte ve topraktan bitkiye element geçişinin büyüklüğü niceleyici olarak tahmin edilebilmektedir (Kalender ve Alçiçek, 2016). Şehir merkezinde ( $BCF>1$ ) yüksek BCF değerleri bulunmuş olup, yol kenarında Co dışında diğer elementlere ait BCF değeri 2'nin üstündedir. Şehir merkezi ve yol kenarında en fazla akümüle edilen element Fe olarak bulunmuştur. *L. draba* türünün Ni, Fe, Co ve Mn için iyi bir biyoakümülatör olduğu bulunmuştur. *L. draba* biyoakümülatör potansiyeli ve taşıma faktörü Ni elementi dışında lolakiteler arasında büyük farklılıklar göstermiştir.

Zenginleşme, bir bitki tarafından alınan bir kirletici maddenin hızlı bir şekilde parçalanmadığı durumlarda meydana gelir; bitkide birikme ile sonuçlanır. Zenginleştirme katsayısı (EF), bir bitki türünün fitoremediasyon potansiyelini göz önüne alındığında önemli bir faktördür.  $EF>1$ , bitkinin metal iyonlarını topraktan akümüle etme ve onu havadan parçalara taşıma yeteneğini gösterir (Ghavri ve ark., 2013; Galal ve Shehata, 2015).

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Toprakta izin verilebilir sınır nikel değerleri göre  $35 \text{ mgkg}^{-1}$  iken bitkide  $10 \text{ mgkg}^{-1}$ 'dir. Fe değeri, FAO/WHO (2003) standardına göre sınır değer  $30 \text{ mgkg}^{-1}$ , toprakta izin verilebilir sınır demir ( $\text{Fe}^{+2}$ ) değeri  $50 \text{ mgkg}^{-1}$  olarak; bitkide izin verilebilir demir sınır değerleri ise  $50-150 \text{ mgkg}^{-1}$  arasında olduğu bildirilmektedir (Yücel ve ark., 2010; Fergusson, 1990). Carrigan ve Erwin (1951)'e göre toprakların toplam Co içeriği  $1-40 \text{ mgkg}^{-1}$ , ekstrakte edilebilir Co içeriği ise  $0,03-0,09 \text{ mgkg}^{-1}$  arasında bulunmaktadır. Araştırmacılara göre tarım topraklarında ekstrakte edilebilir Kobalt'ın toksisite sınır değeri  $0,09 \text{ mgkg}^{-1}$  olarak belirlenmiştir. Bitki ve toprakta Mn sınır değerleri  $100 \text{ mgkg}^{-1}$  olarak belirlenmiştir (Alvarenga ve ark., 2007).

Bu çalışmada, Ni bitki ve toprakta toksik sınırın altında, Fe bitkide ve toprakta sınır değer üstüne, Co bitkide ve toprakta sınır değer üstüne, Mn ise toprakta sınır değerinin altında iken şehir içi, yol kenarı ve kenar semtte toksik sınırın üstünde bulunmuştur (Tablo 6) Toprak pH'sı yol kenarında bazik diğer alanlarda nötr-hafif bazik olarak bulunmuştur.

Nötr ve yüksek toprak pH'ı, toprak toksik elementlerini stabilize edebilir, böylece toprak toksik elementlerinin etkilerini azaltır (Badr ve ark., 2012). Ayrıca elementlerin topraktan bitkiler tarafından alınabilirliği çok çeşitli faktörlere bağlıdır. Bitkinin genetik yapısı, ilgili elementin toprağın bulundurma kapasitesine, elementlerin toprakta mobil ya da immobil olması, elementin su içerisinde çözünmesi önemli faktörler arasında sayılabilir. Türünün yaprak ve kökünde biriken ağır metal miktarları'na göre bitkinin gövdesinde ki ağır metal birikiminden daha fazla olduğu görülmektedir. Smical ve ark. (2008) bitkilerde ağır metal daha çok köklerde daha sonra diğer organlarda biriktiğini bildirmişlerdir. *L. draba* Ni ve Fe'nin köklerde birikimi, Co ve Mn ise yaprakta birikimin daha yüksek olduğu görülmektedir. Fitostabilizasyon, kirleticilerin topraktaki göçünü en aza indirmek için kullanılabilir (Susarla ve ark., 2002). Yol kenarındaki atmosferik partiküllerde önemli miktarda ağır metal birikimine neden olabilmektedir (Johansson ve ark., 2009). Yapraklarda Co ve Mn'nin yüksek oluşunun bir nedeni de atmosferik kaynaklı olabilir.

Bir bitkinin hiperakümülatör olabilmesi için, normal bitkilerde ölçülenden 100 kat daha fazla metal biriktirme kabiliyetine sahip bitkiler olarak tanımlanmaktadır. Hiperakümülatör bir bitki  $10 \text{ ppm}$ 'den fazla Hg,  $100 \text{ ppm}$ 'den fazla Cd,  $1000 \text{ ppm}$ 'den fazla Co, Cr, Cu, ve Pb ve  $10.000 \text{ ppm}$ 'den fazla Ni ve Zn'yu bünyesine alabilmektedir (Baker ve Brooks, 1989). *L. draba* çalışılan elementlerin hiç birinde  $100-1000$  kat akümülatör gerçekleştirilememiştir. Ancak Ni ve Fe bakımından yüksek akümülatör tespit edilmiştir.

Bu çalışmada EF değerleri 2'nin üstünde bulunmuştur. EF değerleri arttıkça, antropojenik etkinin katkısı da artar. EF'ler genellikle yerel arka plan değerleri kullanılarak değerlendirilmiştir.  $EF>2$  değerleri zenginleştirilmiş numunelere işaret eder (Mingorance ve ark., 2007).

BCF, bitkilerde metal birikim etkinliğinin değerlendirilmesi için ve TF ise bitkinin köklerinden üst organlarına metallerin yerini değiştirme kapasitesini değerlendirmek için kullanılabilir. *L. draba* türü Ni, Co ve Mn elementleri bakımından yüksek biriktirme oranına sahiptir. Türün bu elementler bakımından iyi bir akümülatör olabileceğini düşünülmektedir.

Fitoremediasyon amacıyla kullanılan bitkilerin performanslarının değerlendirilmesi amacıyla kullanılan Baker Teorisine göre bitkiler, iyi toplayıcılar ve kökte tutucular olarak 2'ye ayrılmaktadır. Baker teorisine göre iyi bir toplayıcı bitki, toprak üstü aksamında yüksek oranda element biriktirebilen bitki olarak tanımlanmaktadır. Buna göre toprak üstü aksamında biriken element miktarının köklerinde biriken element miktarına oranı 1'den yüksek olan bitkiler iyi toplayıcı bitkiler olarak sınıflandırılmaktadır. Bu oranın 1'den düşük olduğu bitkiler ise köklerinde tuttukları elementleri, toprak üstü aksamına iyi iletemeyen bitkiler (kökte tutucular) olarak değerlendirilmektedir (Baker ve Brooks, 1989).

Baker Teorisine göre iyi toplayıcılar fitoekstraksiyon yönteminde, kökte tutucular ise fitostabilizasyon yönteminde kullanılabilir (Vanlı, 2007). Çalışmamızda *L. draba* türü araştırılan Ni, Co ve Mn elementlerinde TF oranı  $1>$  den büyük olduğu için iyi toplayıcı grubuna girmektedir. *L. draba* Ni ve Fe'nin köklerde birikimi, Co ve Mn ise yaprakta birikimin daha yüksek olduğu görülmektedir.

Nouri ve ark. (2011), İran'da maden kaynaklarına yakın alanlarda yayılış gösteren türlerin biyoremediasyon kapasitelerini araştırdıkları çalışmada *L. draba*'da Mn kökte  $128 \text{ mgkg}^{-1}$  gövdede ise  $261 \text{ mgkg}^{-1}$ , BCF değeri 0.43, TF değeri 0.23, Fe değerini ise

kökte 1.306 mgkg<sup>-1</sup>, gövdede 2.557 mgkg<sup>-1</sup>, BCF değeri 0.20, TF ise 0.84 bulmuşlardır. Bitkinin hiperakümülatörlük özelliğinin düşük olduğunu bildirmişlerdir. Bizim çalışmamızda ise TF ve BCF değerleri yüksek bulunmuş olup bitkinin hiperakümülatörlük özelliğinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Riahi ve ark. (2015) *L. draba*'nın Zn ve Ag için, Cheraghi ve ark. (2011) Cu elementi için hiperakümülatör olduğunu bildirmişlerdir. Georgieva ve ark. (2015) Bulgaristan'da yaptıkları çalışmada *L. draba*'nın aşırı derecede kirlenmiş alandaki hiperakümülatör seviyelerinin yüksek olduğunu, Pb ve Cd'yi yüksek seviyede biriktirdikleri, Micevska ve ark. (2019) Ni ve Fe'nin atmosferdeki girdilerinin çevreye değerlendirilmesi için potansiyel bir tür olduğunu bildirmişlerdir. Sonuç olarak bitkinin yaprakları ve köklerinde yüksek BF ve TF değerleri gözlemlendiği için, ağır metal kirliliği içeren toprakların temizlenmesinde bu bitkilerin metal biriktirici bitkiler (hiperakümülatör) olarak kullanılabilir (Brooks, 1998).

Fitoremediasyon teknolojisi, kirlenmiş toprakların temizlenmesinde biyolojik tabanlı ve düşük maliyetlidir. Ayrıca toprağın kazılarak yerinden alınmaması önemli bir maliyet azaltıcı avantaj olarak göze çarpmaktadır. Hiperakümülatör bitkiler, ağır metallerle kirlenmiş alanların fitoremediasyonu için bu bitkilerin potansiyel kullanımlarından dolayı son yıllarda artan ilgi görmektedir. Araştırmamız türün doğal olarak yayılış gösterdiği alanlarda yapılmıştır. Bitkinin akümülatör kapasitesini arttırmak amacıyla şelat destekli bir şekilde kültüre alınarak kontrollü sera deneme çalışmaları yapılması önerilmektedir.

## Kaynakça

- Afzal, M., Ali, M. I., Munir, M. A., Ahmad, M., Mahmood, Z., Sharif, M. N., & Aslam, M. (2016). Genetic association among morphological traits of *Lepidium draba*. *Bulletin of Biological and Allied Sciences Research*, 1(1).
- Alvarenga, P., Palma, P., Gonçalves, A. P., Fernandes, R. M., Cunha-Queda, A. C., Duarte, E., & Vallini, G. (2007). Evaluation of chemical and ecotoxicological characteristics of biodegradable organic residues for application to agricultural land. *Environment International*, 33(4), 505-513.
- Asri, F. Ö., & Sönmez, S. (2006). Ağır metal toksisitesinin bitki metabolizması üzerine etkileri. *Derim*, 23(2), 36-45.
- Badr, N., Fawzy, M., & Al-Qahtani, K. M. (2012). Phytoremediation: An ecological solution to heavy-metal-polluted soil and evaluation of plant removal ability. *World Applied Sciences Journal*, 16(9), 1292-1301.
- Baker, A. J. M., & Brooks, R. (1989). Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements. A review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery*, 1(2), 81-126.
- Barbieri, M. (2016). The importance of enrichment factor (EF) and geoaccumulation index (Igeo) to evaluate the soil contamination. *J Geol Geophys*, 5(237), 2.
- Blaylock, M. J., Salt, D. E., Dushenkov, S., Zakharova, O., Gussman, C., Kapulnik, Y., ... & Raskin, I. (1997). Enhanced accumulation of Pb in Indian mustard by soil-applied chelating agents. *Environmental Science & Technology*, 31(3), 860-865.
- Brooks, R. R. (1972). Geobotany and biogeochemistry in mineral exploration.
- Brooks, R. R. (1998). Plants that Hyperaccumulate Heavy Metals: Their Role in Phytoremediation, Microbiology, Archaeology. *Mineral Exploration and Phytomining*. Wallingford, UK: CAB International.
- Buat-Menard, P., & Chesselet, R. (1979). Variable influence of the atmospheric flux on the trace metal chemistry of oceanic suspended matter. *Earth and Planetary Science Letters*, 42(3), 399-411.
- Carrigan, R. A., & Erwin, T. C. (1951). Cobalt Determination in Soils by Spectrographic Analysis Following Chemical Preconcentration 1. *Soil Science Society of America Journal*, 15(C), 145-149.
- Cheraghi, M., Lorestani, B., & Yousefi, N. (2011). Introduction of hyperaccumulator plants with phytoremediation potential of a lead-zinc mine in Iran. *World Acad Sci Eng Technol*, 77, 163-8.
- Demirayak, A., Kutbay, H. G., Sürmen, B., Kılıç, D. (2019). Arsenic accumulation in some natural and exotic tree and shrub species in Samsun Province (Turkey). *Anatolian Journal of Botany*, 3(1), 13-17.
- Doğan, M. (2019). Effect of cadmium, chromium, and lead on micropropagation and physio-biochemical parameters of *Bacopa monnieri* (L.) Wettst. cultured in vitro. *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, 30(2), 351-366.
- Doğan, M., Karataş, M., & Aasim, M. (2018). Kadmiyum, Krom ve Kurşunun *Ceratophyllum demersum* L. ve *Pogostemon erectus* (Dalzell) Kuntze Üzerine Fitotoksitesinin Değerlendirilmesi. *Karaelmas Science and Engineering Journal*, 8(2), 543-550.
- FAO/WHO (2003). Codex Alimentarius International Food Standards Codex Stan-179, Codex Alimentariuscommission.
- Fergusson, J. E. (1990). Heavy elements: chemistry, environmental impact and health effects. *Pergamon*.
- Galal, T. M., & Shehata, H. S. (2015). Bioaccumulation and translocation of heavy metals by *Plantago major* L. grown in contaminated soils under the effect of traffic pollution. *Ecological Indicators*, 48, 244-251.
- Garbisu, C., Allica, J. H., Barrutia, O., Alkorta, I., & Becerril, J. M. (2002). Phytoremediation: a technology using green plants to remove contaminants from polluted areas. *Reviews on Environmental Health*, 17(3), 173-188.
- Georgieva, S., Atanassova, J., Dinev, N. (2015). Metal hyperaccumulation in *Cardaria draba* (L.) Desv.(Brassicaceae) and heavy metal effects on the nematodes and a weevil associated with the plant roots in sites near a non-ferrous metal smelter in Bulgaria. *Soil Sci Agroche. Ecol*, 49, 55-64.
- Ghavri, S. V., Baudhh, K., Kumar, S., & Singh, R. P. (2013). Bioaccumulation and translocation potential of Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> in native weeds grown on industrially contaminated soil. *Int J ChemTech Res*, 5(4), 1869-1875.
- Johansson, C., Norman, M., & Burman, L. (2009). Road traffic emission factors for heavy metals. *Atmospheric Environment*, 43(31), 4681-4688.
- Kabata-Pendias, A., & Dudka, S. (1991). Trace metal contents of *Taraxacum officinale* (dandelion) as a convenient environmental indicator. *Environmental Geochemistry and Health*, 13(2), 108-113.
- Kaçar, B., & Katkat, V. (2010). Bitki Besleme (Plant Nutrition)(5. Baskı). *Nobel Yayın Dağıtım*.
- Kalender, L., & Alççek, Ö. N. (2016). *Astragalus angustifolius*, *Artemisia* ve *Juncus effusus*' un Uranyum ve Toryum için Biyoakümülatör Özellikleri. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 28(2), 267-273.



- Kılıç, D. (2019). Investigation of heavy metal accumulation and biomonitoring of *Calepina irregularis* species growing in Amasya (Turkey) province. *Anatolian Journal of Botany*, 3(2), 44-50.
- Ladislav, S., El-Mufleh, A., Gérente, C., Chazarenc, F., Andrès, Y., & Béchet, B. (2012). Potential of aquatic macrophytes as bioindicators of heavy metal pollution in urban stormwater runoff. *Water, Air, & Soil Pollution*, 223(2), 877-888.
- Luu, T. D., Truong, P., Mammucari, R., Tam, T., & Foster, N. (2009). Vetiver grass, *Vetiveria zizanioides*: a choice plant for phytoremediation of heavy metals and organic wastes. *International Journal of Phytoremediation*, 11(8), 664-691.
- Macek, T., Kotrba, P., Svatos, A., Novakova, M., Demmerova, K., & Mackova, M. (2008). Novel roles for genetically modified plants in environmental protection. *Trends in biotechnology*, 26(3), 146-152.
- McGrath, S. P., Zhao, F. J., & Lombi, E. (2001). Plant and rhizosphere processes involved in phytoremediation of metal-contaminated soils. *Plant and Soil*, 232(1-2), 207-214.
- Mellem, J. J., Baijnath, H., & Odhav, B. (2012). Bioaccumulation of Cr, Hg, As, Pb, Cu and Ni with the ability for hyperaccumulation by *Amaranthus dubius*. *African Journal of Agricultural Research*, 7(4), 591-596.
- Micevska, O., Hristovski, S., & Melovski, L. (2019). The impact of the ferro-nickel smelter's fugitive dust emission on heavy metal content in soils and whitetop (*Lepidium draba* L.) in Kavadarci, Republic of Macedonia. *Environmental pollution*, 15, 16.
- Mingorance, M. D., Valdes, B., & Oliva, S. R. (2007). Strategies of heavy metal uptake by plants growing under industrial emissions. *Environment International*, 33(4), 514-520.
- Müller, G. (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*, 2, 108-118.
- Nouri, J., Lorestani, B., Yousefi, N., Khorasani, N., Hasani, A. H., Seif, F., & Cheraghi, M. (2011). Phytoremediation potential of native plants grown in the vicinity of Ahangaran lead-zinc mine (Hamedan, Iran). *Environmental Earth Sciences*, 62(3), 639-644.
- Oven, M., Grill, E., Golan-Goldhirsh, A., Kutchan, T. M., & Zenk, M. H. (2002). Increase of free cysteine and citric acid in plant cells exposed to cobalt ions. *Phytochemistry*, 60(5), 467-474.
- Özkul, C., Acar, R. U., Köprübaşı, N., Er, A. E., Kızılkaya, H. İ., Metin, M., & Şenel, M. N. (2018). Altıntaş (Kütahya-Türkiye) ovası tarım topraklarında ağır metal kirliliğinin araştırılması, öncel çalışma. *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi*, 17(1), 13-26.
- Padmavathiamma, P. K., & Li, L. Y. (2007). Phytoremediation technology: hyper-accumulation metals in plants. *Water, Air, and Soil Pollution*, 184(1-4), 105-126.
- Reeves, R. D., & Brooks, R. R. (1983). Hyperaccumulation of lead and zinc by two metallophytes from mining areas of Central Europe. *Environmental pollution series A, Ecological and Biological*, 31(4), 277-285.
- Riahi, M. A., Nasiri, B. M., Yousefi, K., & Mohammadi, M. (2015). Investigation of the ability of *Lepidium draba* L. seedlings in zinc and silver ions absorption and effect of the ions on morphological and biochemical characteristics of the seedlings. *Journal of Cell & Tissue*, 6(1), 59-70.
- Salt, D. E., & Rauser, W. E. (1995). MgATP-dependent transport of phytochelatin across the tonoplast of oat roots. *Plant Physiology*, 107(4), 1293-1301.
- Scurfield, G. (1962). *Cardaria Draba* (L.) Desv. *Journal of Ecology*, 50(2), 489-499.
- Smical, A. I., Hotea, V., Oros, V., Juhasz, J., & Pop, E. (2008). Studies on transfer and bioaccumulation of heavy metals from soil into lettuce. *Environmental Engineering and Management Journal*, 7(5), 609-615.
- Susarla, S., Medina, V. F., & McCutcheon, S. C. (2002). Phytoremediation: an ecological solution to organic chemical contamination. *Ecological Engineering*, 18(5), 647-658.
- Sutherland, R. A. (2000). Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environmental Geology*, 39(6), 611-627.
- Van Der Ent, A., Echevarria, G., & Tibbett, M. (2016). Delimiting soil chemistry thresholds for nickel hyperaccumulator plants in Sabah (Malaysia). *Chemoecology*, 26(2), 67-82.
- Vanlı, Ö. (2007). Pb, Cd, B Elementlerinin Topraklardan Şelat Destekli Fitoremediasyon Yöntemiyle Giderilmesi. (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Vatamaniuk, O. K., Mari, S., Lu, Y. P., & Rea, P. A. (2000). Mechanism of heavy metal ion activation of phytochelatin (PC) synthase blocked thiols are sufficient for PC synthase-catalyzed transpeptidation of glutathione and related thiol peptides. *Journal of Biological Chemistry*, 275(40), 31451-31459.
- Yanqun, Z., Yuan, L., Jianjun, C., Haiyan, C., Li, Q., & Schwartz, C. (2005). Hyperaccumulation of Pb, Zn and Cd in herbaceous grown on lead-zinc mining area in Yunnan, China. *Environment International*, 31(5), 755-762.
- Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q., & Ma, L. Q. (2006). Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Science of The Total Environment*, 368(2-3), 456-464.
- Yücel, E., Edrnelioglau, E., Soydam, S., Celik, S., Colak, G. (2010). *Myriophyllum spicatum* (Spiked water-milfoil) as a biomonitor of heavy metal pollution in Porsuk Stream/Turkey. *Biological Diversity and Conservation*, 3(2), 133-144.
- Zayed, A., Gowthaman, S., & Terry, N. (1998). Phytoaccumulation of trace elements by wetland plants: I. Duckweed. *Journal of Environmental Quality*, 27(3), 715-721.





# Efficiency Assessment Model in Turkish Agriculture with Multi Criteria Decision Making Methods

Muhammet Fatih Ak<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Antalya Bilim Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4342-296X)

(İlk Geliş Tarihi 29 Ağustos 2019 ve Kabul Tarihi 28 Ekim 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.613199)

**ATIF/REFERENCE:** Ak, M. F. (2019). Türk Tarımında Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Verimlilik Değerlendirme Modeli. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 500-508.

## Abstract

People have learned and has been developing agriculture for years. The surrounding land has become the best way to use as a result of years of observations. Over the centuries, cities have grown significantly and observable changes in land usage come up with the help of expanded and developing technology. Although Turkey has a huge and suitable land for agriculture, agricultural activities are gradually decreasing every year. The main reason why people of rural areas migrate rapidly to the cities and why agricultural activities are decreasing can be explained with the lack of adequate productivity in the production layer; moreover, fertile soils are not used effectively. As a result of the low level of productivity on agriculture, the production of agricultural products does not meet domestic demand.

A significant amount of funding is planned for future agriculture projects. Nevertheless, agricultural development in Turkey is still facing major obstacles due to efficiency. Currently, significant inflation rate increase in Turkey can be observed due to economical and geopolitical events. One of the most important reasons for the serious increase in inflation is the efficiency problems in agricultural items and activities. This study aims to develop a detailed risk analysis model of the whole system to increase productivity and efficiency with multi-criteria decision-making methods (MCDM). The findings obtained are an analysis of in agricultural productivity in order to make an improvement and it is important to be a preliminary study of the steps to be taken for efficiency. At the end of the study proposed risk analysis model aims to help all kinds of agricultural products to be planned and to be produced with detailed scientific investigations.

**Keywords:** Multi Criteria Decision Making Methods, Agriculture, Productivity, Risk Assessment, Optimization

## Türk Tarımında Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Verimlilik Değerlendirme Modeli

### Öz

İnsanlar yıllarca tarım öğrendi ve tarım da gelişmeye ve geliştirilmeye devam etmektedir. İnsanları çevreleyen yapılar yıllarca yapılan gözlemler sonucunda en iyi şekilde kullanılmaya başlandı. Yüzyıllar boyunca, şehirler önemli ölçüde büyümüştür. Genişleyen ve gelişen teknoloji sayesinde arazi kullanımında gözlenebilir değişiklikler ortaya çıkmıştır. Türkiye'nin tarıma elverişli ve büyük alanları olmasına rağmen, tarımsal faaliyetler her yıl giderek azalmaktadır. Kırsal alandaki insanların şehirlere hızla göç etmelerinin ve tarımsal faaliyetlerin azalmasının ana nedeni, üretim katmanında yeterli verim alınmaması ile açıklanabilir; bunu yanı sıra, toprakların verimli kullanılmaması da buna sebep teşkil etmektedir. Tarımda verim düşüklüğünün bir sonucu olarak da, tarımsal ürün üretimi iç talebi karşılamayacak noktadadır.

Gelecek yıllarda uygulanması planlanan tarım projeleri için önemli miktarda finansman ayrılması hedeflenmektedir. Bununla birlikte, Türkiye'deki tarımsal gelişme, verimlilik nedeniyle hala büyük sorunlarla karşı karşıya kalmaktadır. Günümüzde, ekonomik ve jeopolitik olaylar nedeniyle, Türkiye'de önemli bir enflasyon artışı gözlemlenmektedir. Enflasyondaki ciddi artışın en önemli sebeplerinden biri tarımsal ürün ve faaliyetlerdeki verimlilik problemleridir. Bu çalışma, çok kriterli karar verme yöntemleri (ÇKKV)

\* Sorumlu Yazar: Antalya Bilim Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0003-4342-296X, [xxxx@xxx.xx.xx](mailto:xxxx@xxx.xx.xx)

ile üretkenlik ve verimliliği artırmak, tüm sistemi temel manada inceleyek bir risk analiz modelini geliştirmeyi amaçlamaktadır. Elde edilen bulgular, tarımsal verimliliğin artırılması ve iyileştirme amacıyla bir analiz niteliğinde olup verimlilik için atılacak adımların ön incelemesi olması noktasında önem arz etmektedir. Çalışmanın sonunda önerilen risk analiz modeli, her türlü tarımsal ürünün planlanmasına ve detaylı bilimsel araştırmalarla üretilmesine yardımcı olmayı amaçlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri, Tarım, Üretkenlik, Verimlilik Değerlendirmesi, Optimizasyon

## 1. Giriş

Turkey has a generally mountainous terrain. There is a close link between dominant winds and the sea because they bring the north and south under the influence of climatic features with Turkey landform features. Turkey has 77.9 million hectares of land assets. 26.3 million of it agricultural lands. Turkey's growing population and agricultural land features indicates that productivity is a key element to be considered. The variety of agricultural products and their yields can be increased with the usage of valid and proper optimization and planning. Agriculture and food policies are effective in the development and implementation of new technologies and new planning strategies. Nowadays, one of the most important reasons for the increasing inflation rate is it the price increase in agricultural products .

Agricultural value added constitutes 3% to 6% of the world GDP according to different approaches. It is known that this rate has decreased less than %10 which should be increased for the benefit of Turkey. Agriculture in Turkey has been developed for more than 90 years. Agricultural production potential can still satisfy the domestic agricultural demand although the system has several impediments. Figure 1 shows most produced commodities of Turkey for 23 year period. Although there is a significant increase can be observed, the price of agricultural products tends to increase. This makes productivity and planning problem that Turkey has been facing.

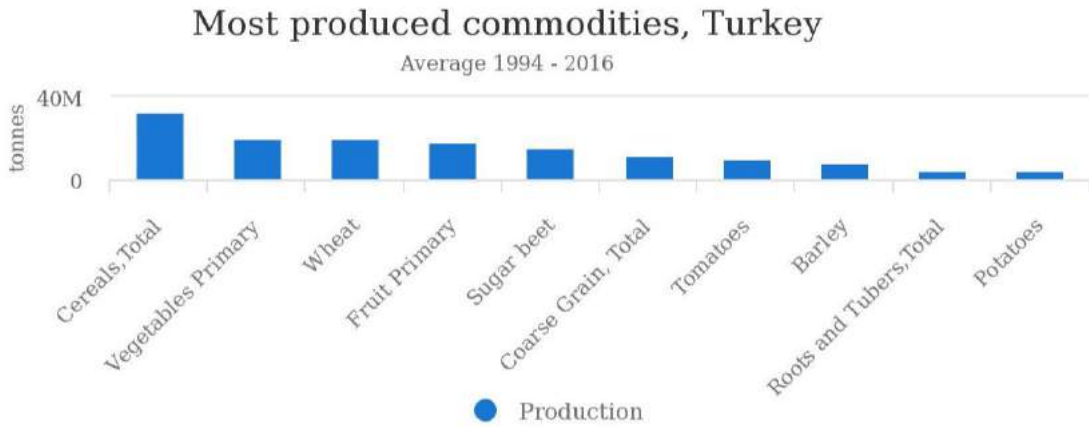


Figure 1. Most produced commodities with respect to year period between 1994-2016

In Figure 2 one of the most important agricultural product, rice production of Turkey can be observed. In Figure 3 top ten producers of rice are shown. Almost half of the total production of the rice produced by China. Food and non-alcoholic beverages are at the rate of 23% in the inflation basket and they are the most effective group in calculation of inflation rate.

Productivity in agricultural products is one of the most important indicator.

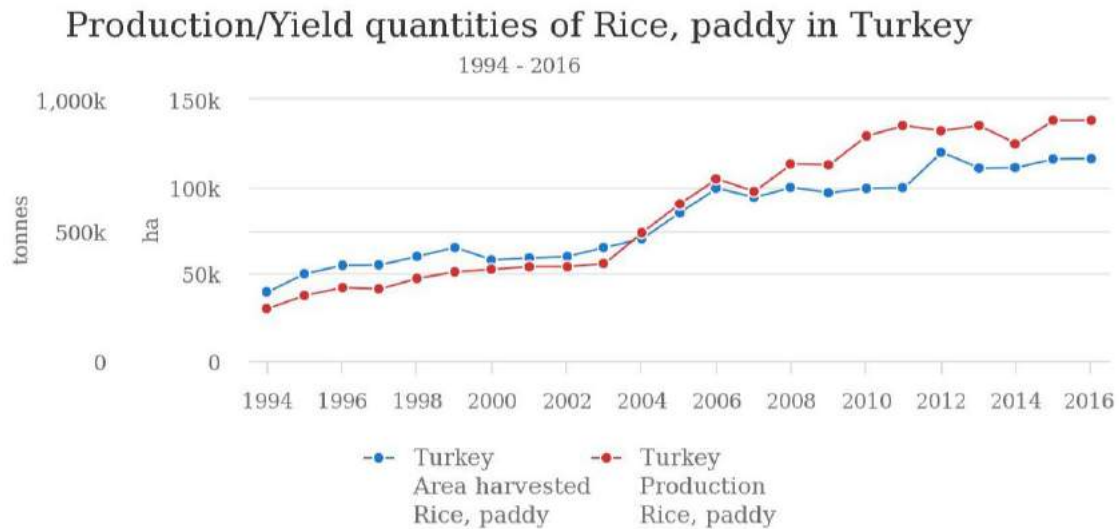


Figure 2. Rice production quantity of Turkey with respect to year period between 1994-2016

Figure 2 indicates obvious positive trend between time and total amount of production with the increase in population in Turkey. Especially in year period 2003-2006 it can be observed that positive linear increase existed.

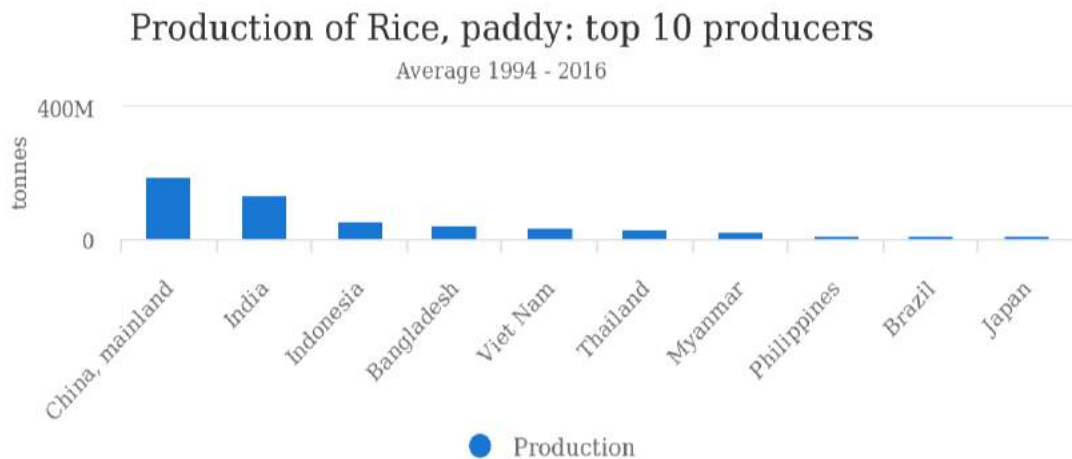


Figure 3. Top 10 producers of rice with respect to year period between 1994-2016

In Table 1 it can be shown that although Turkey has 20 times larger agricultural land than the Netherlands, agricultural goods export is approximately 5 times less. In 2017 the Netherlands exported €91.7 billion in agricultural goods while Turkey exported approximately €16 billion. When it is compared the total population between Netherland and Turkey it can be seen that Netherlands has a population of 17 million while Turkey has approximately 80 million. Turkey has relatively large agricultural land when it is compared with all of the European Union .

In order to increase productivity in agricultural products, the detailed risk analysis is required for any process of production. There are many risk analysis studies exist in the literature where Gul and Guneri (2016) has used benefit of fuzzy logic with the application in Analytic Hierarchy Process to determine weights of criteria with the aim of prioritization of the alternative groups in manufacturing. On the other study Ebrahimnejad et al (2010) used MCDM methods to identificate risks with the help of fuzzy logic while Vahdani et al (2015) used parameters of failure mode and effects analysis (FMEA) to determine the preference of cause failures.

Table 1. Agricultural Land, Permanent Pasture, Hectares, 2017

Location	At the beginning of 2017 ( thousand hectares)
United States	265 266.27
United Kingdom	11 277.00
<b>Turkey</b>	<b>14 616.69</b>
Switzerland	1 095.91
Spain	6 471.39
Slovenia	276.25
Slovak Republic	521.44
Romania	4 521.38
Portugal	1 875.85
Poland	3 175.50
Norway	649.8
New Zealand	10 006.00
<b>Netherlands</b>	<b>729.89</b>
Mexico	81 034.91
Luxembourg	67.08
Lithuania	775.6
European Union (28 countries)	59 349.06

In this study, MCDM based efficiency assessment model is proposed with using risk analysis of general components of Turkish agriculture. The risk is the inability to achieve a targeted result, loss or damage over a period of time. Turkish agricultural studies indicate significant risks due to efficiency problems. In order to minimize this possibility, economic and related risks are determined by risk analysis, and the scales of these risks and the areas to be taken are determined. Risk management is the process of identifying, controlling, eliminating, or minimizing uncertain events that may affect system resources. Risk assessment process requires and contains necessary actions are taken without delay for undesired trends or results. The importance of the issue in the management of the Turkish agriculture will be examined with a content that provides practical solutions and explains how it can identify and meditate their risks. Risk assessment studies gives an opportunity to identify potential hazards for the general system and indicate the significant and base problems of it. It also indicates the factors that effect the agricultural system and gives proactive measures in order to deal with problems.

## 2. Method

### 2.1. Multi Criteria Decision Making Methods

In this study, multi criteria decision making based model has been proposed with the most important indicators to be considered. First of all, organization and planning of cultivable lands for whole suitable agricultural lands of Turkey is needed. Optimization and selection of which agricultural products have to be produced with the concern of value added. Agricultural lands should be divided groups according to domestic and global demands. Systematic approach should be applied to agricultural goods especially for potential value added products. Decreasing import amounts of agricultural products in which Turkey has paid more money is one of the main objectives.

#### 2.1.1. Analytic hierarchy process

Analytic hierarchy process (AHP) model can be used in agricultural risk analysis with considering main objectives of Turkey. Thomas L. Saaty developed AHP in 1980 as a measurement theory of intangible criteria (Aragon\_es-Beltr\_an et al. 2009). AHP exposes relevant priority vector when interpreting information preferred by decision makers based on a set of pairwise comparison values of objects. The AHP is based on the hierarchical structure and it is a kind of MCDM method. Goal, criteria and alternatives are 3 important elements of AHP. Goal shows the aim of the problem. Criteria is problem related elements that can be used for decision process. Saaty's scale of 1-9 has been used for each hierarchical level and pairwise comparisons are made with judgments using numerical values .

AHP has a ability to evaluate hierarchical structure.as a whole of both quantitative and qualitative criteria. The pair wise comparisons are organized in a matrix and priorities are derived from the matrix as its principal eigenvector. Consistency of decision makers can be checked in AHP with the help of consistency ratio(CR). 0.1 value is the maximum limit to ensure that judgment is adequately done. Steps of AHP are shown below: (Guner et al. 2015; Tzeng and Huang 2011):

- Step 1: Definition of problem and identifying target of problem
- Step 2: Criteria, sub-criteria and alternatives are determined by creating hierarchical structure.
- Step 3: Pairwise comparison matrix is created with respect to experts
- Step 4: Computation of  $\lambda_{max}$ (average) of values from previous step.
- Step 5: Computation of consistency index,  $CI = (\lambda_{max} - n)/(n - 1)$ .  
 $n$  : total number of items being compared.
- Step 6: Estimation of CR and CI and obtaining random index (RI)

**2.1.1. VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje**

VIKOR (the VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) is one of the most common MCDM methods developed by Opricovic (1998) for multi-criteria optimization problems and compromise solutions. Ranking of alternatives and determination of compromise solution can be done with VIKOR. Solution shows the “ideal” which means closest to the optimal solution. This method focuses on selecting and sorting alternatives when there are conflicting criteria. The multi-criteria decision based on the basis of the proximity to the ideal solution “is also defined as the ranking index. VIKOR method steps are shown below:

Step 1: Creating alternatives and determining criteria

Step 2: Create a decision matrix: where  $A_i$  represents  $i$ th alternative,  $i = 1, 2, 3, \dots, m$ ;  $Cx_j$  :  $j$ th criterion,  $j = 1, 2, \dots, n$ ; and  $x_{ij}$  separate performance of an alternative .

Step 3: The normalization step as follows:  $F = [f_{ij}]_{m \times n}$

Here,  $f_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, m$ ;  $x_{ij}$  : performance of  $A_i$  with respect to the  $j$ th criterion.

Step 4: Determination of the best and worst values of all criterion functions  $j = 1, 2, \dots, n$ . If the  $j$ th function represents a benefit then:

$$f_j^* = \max_i f_{ij}, \quad f_j^- = \min_i f_{ij}$$

Step 5: Estimation of utility measure (S) and regret measure (R): S and R for each alternative are calculated as :

$$S_{ij} = w_j \frac{(f_j^* - f_{ij})}{(f_j^* - f_j^-)}, \quad S_i = \sum_{j=1}^n w_j \frac{(f_j^* - f_{ij})}{(f_j^* - f_j^-)}$$

$$R_i = \max_j (S_{ij}) = \max_j (w_j \frac{(f_j^* - f_{ij})}{(f_j^* - f_j^-)})$$

where,  $S_i$  and  $R_i$  , represent the utility measure and the regret measure, respectively, and  $w_j$  is the weight of the  $j$ th criterion, expressing the relative importance of each criterion.  $w_j$  can be calculated by AHP or Entropy method.

Step 6: Computation of VIKOR index ( $Q_i$ ) for  $i$ th alternative by the following relation:

$$Q_i = \frac{v(S_i - S^-)}{(S^* - S^-)} + \frac{(1 - v)(R_i - R^*)}{(R^* - R^-)}$$

where:  $Q_i$  represents the  $i$ th alternative VIKOR value,  $i = 1, 2, 3, \dots, m$ ;

$$S^* = \max_i S_i, \quad S^- = \min_i S_i$$

$$R^* = \max_i R_i, \quad R^- = \min_i R_i$$

where “ $v$ ” denotes: weight of the maximum group utility. It ranges between 0 and 1, and is based on the level of compromise among decision makers. The higher the term  $v$ , the compromise is greater. In most cases, it is to be set to 0.5 ( $v = 0.50$ ).

Step 7: Rank the alternatives, sorting by the values S, R and Q, from the minimum value to the maximum. The results are three ranking lists.



Step 8: Ranking list by the measure Q (minimum) is proposed if the following two conditions are satisfied:

C1) Alternative  $A_1$  must also be the best ranked by S or/and R

C2) Acceptable advantage:  $Q(A_2) - Q(A_1) \geq DQ$  ; where  $DQ=1/(m-1)$ ; m is the number of alternatives.

### 3. Research Findings and Discussions

After MCDM methods application has been determined to deal with and avoid risks, it can be easily set up production planning according to obtained results. Agricultural risk analysis comes up with benefits of productivity and easiness of planning. Since Turkey has larger agricultural lands than lots of countries, productivity and planning should be considered properly. In this point advantages of AHP and VIKOR can be seen and agricultural strategy of Turkey can be revised. Optimization of agricultural lands with proper agricultural goods could increase significantly export of Turkey among other countries. More research and development studies should be done and implemented systematically in the agricultural area.

In this study agricultural productivity and planning problem is considered and MCDM method based structure have been proposed. For the future work, more detailed and specific product group base criteria set and detailed risk analysis could be applied to increase total number of value added agricultural products in Turkey.

### 4. Results

AHP and VIKOR are two important MCDM methods and applied in order to find each agricultural risk analysis criteria to increase productivity. Criterias are defined and found with the help of 8 experienced agricultural engineers

- a) Unit domestic price of product
- b) Unit export price of product
- c) Export demand of product
- d) Domestic demand of product
- e) Local value of product
- f) Global value of product
- g) Unit cost of production of product

In this study each of criteria weights have been found with using AHP and ranking and prioritization of alternatives have been done with the help of VIKOR method. In Figure 4 AHP application interface can be seen. In Figure 5 AHP Application on Superdecision Program interface for this problem can be seen too.

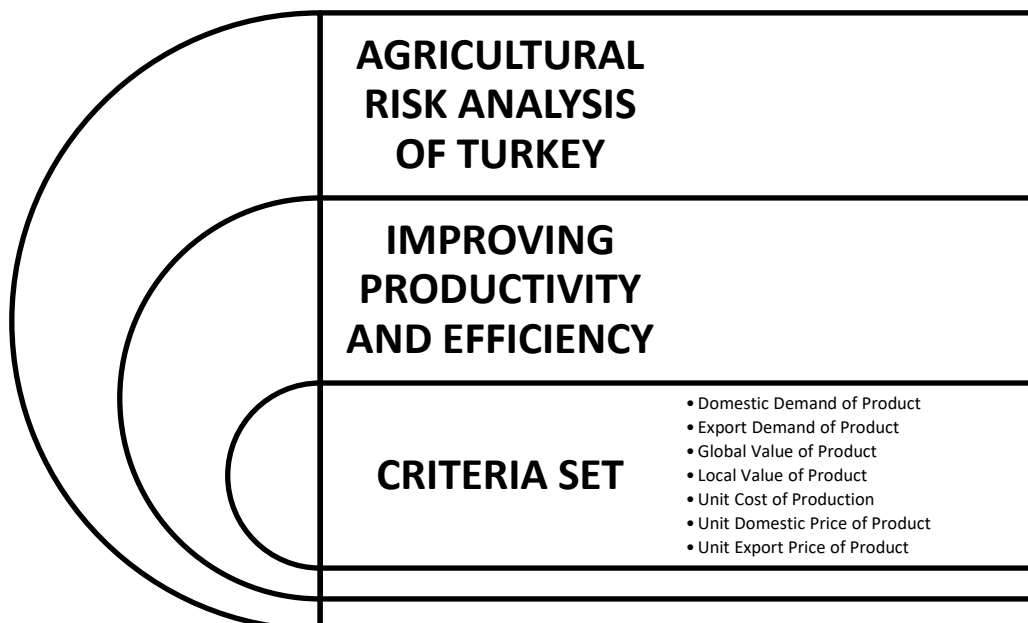


Figure 4. AHP Application Flow Chart

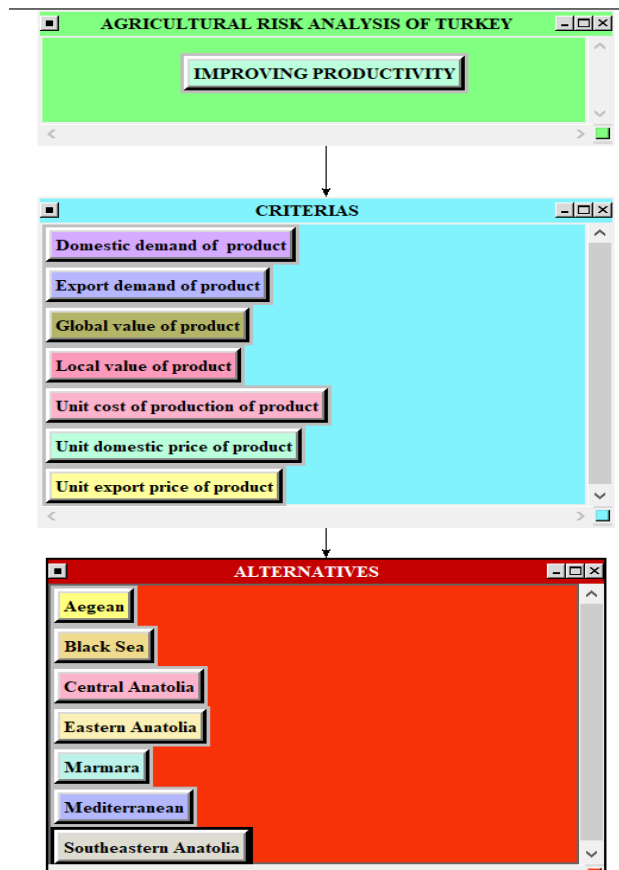


Figure 5. AHP Application on Superdecision Program.

After pairwise comparisons and finishing each steps each criteria weights are found in Table 2. Global value of product has the highest weight and unit export price of product , export demand of product, domestic demand of product , local value of product, unit domestic price of product are sorted orderly.

Table 2. Subjective Weights Of Criterias

Criteria	Normalized Weights
Domestic demand of product	14.3%
Export demand of product	19.4%
Global value of product	27.2%
Local value of product	9.4%
Unit domestic price of product	8.2%
Unit export price of product	21.5%

According to the AHP application, evaluations of the agricultural engineers in 9 scale matrixes are used to evaluate the relative weights of each group by pairwise comparisons. Table 2 shows the obtained results.

After determining the weights of six risk parameters by AHP, the evaluations of each risk parameter of Turkish agriculture VIKOR is applied. In the first step of VIKOR weights of each risk parameter are used.

In the following step, the best  $f_j^*$  and the worst  $f_j^-$  values of all risk parameter ratings are determined by equations which are mentioned above. The normalized distance is calculated for each alternatives as shown in Table 3.

Table 3. Normalized Distances Of Risk Parameters.

Criteria	Normalized Weights
Domestic demand of product	14.3%
Export demand of product	19.4%
Global value of product	27.2%
Local value of product	9.4%
Unit domestic price of product	8.2%
Unit export price of product	21.5%

Figure 6. VIKOR Results.

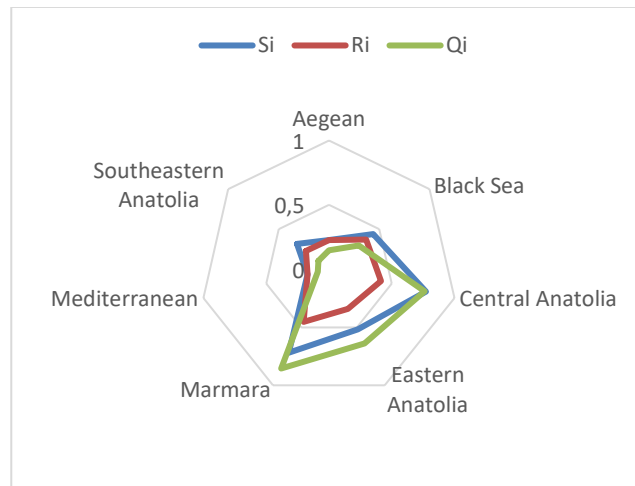


Table 4. Ranking of Alternatives

Alternatives	Aegean	Black Sea	Central Anatolia	Eastern Anatolia
Si	0.2268	0.44	0.77295	0.517143
Ri	0.2268	0.37	0.414571	0.34
Qi	0.1479	0.3	0.762009	0.638411

Table 5. Obtained Parameter Results For Alternatives

Alternatives	Marmara	Mediterranean	Southeastern Anatolia
Si	0.7188	0.1697	0.3164
Ri	0.4531	0.1697	0.2278
Qi	0.8551	0.09	0.1041

The required parameter values (Q,S,R) are calculated for all alternatives as in Table 4 and Table 5. The risk priority orders of the alternatives types by S, R, and Q in the decreasing order are obtained.

Figure 6 shows the parameter values for each alternatives. In this figure minimum values are indicating the best alternative, while alternatives having S, R, and Q values closest from 1 is ranked and indicating the worst. Obtained results indicate that the most important alternatives to produce agricultural good are in the whole system of the Turkey are stemmed from Mediterranean, Aegean, Black Sea, Southern Anatolia, Eastern Anatolia, Central Anatolia and Marmara respectively.

After MCDM methods application has been determined to deal with and avoid risks, it can be easily set up production planning according to obtained results. Agricultural risk analysis comes up with benefits of productivity and easiness of planning. Since Turkey has larger agricultural lands than lots of countries, productivity and planning should be considered properly. In this point advantages of AHP and VIKOR can be seen and agricultural strategy of Turkey can be revised. Optimization of agricultural lands with proper

agricultural goods could increase significantly export of Turkey among other countries. More research and development studies should be done and implemented systematically in the agricultural area.

In this study agricultural productivity and planning problem is considered and MCDM method based structure have been proposed. For the future work, more detailed criteria set and detailed risk analysis should be applied to increase total number of value added agricultural products in Turkey.

## References

- [1] Gul M and Guneri AF. (2016). A fuzzy multi-criteria risk assessment based on decision matrix technique: A case study for the aluminum industry. *J Loss Prev Process Ind* 40:89-100.
- [2] Miç, P. & Antmen, Z. F. (2019). A Healthcare Facility Location Selection Problem with Fuzzy TOPSIS Method for a Regional Hospital. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 750-757.
- [3] Guneri AF, Gul M, and Ozgurler S. (2015). A fuzzy AHP methodology for selection of risk assessment.
- [4] Kılıçarslan, M. & Güçlü, A. (2019). İstanbul'da Bulunan Sağlık Bakanlığı Hastanelerinin Verimlilik Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 552-558.
- [5] Ozdemir, Y., Basligil, H., & Ak, M. F. (2016). Airport Safety Risk Evaluation Based On Fuzzy Anp And Fuzzy Ahp. *Uncertainty Modelling in Knowledge Engineering and Decision Making*.
- [6] Gul M, Celik E, Aydin N, et al. (2016). A state of the art literature review of VIKOR and its fuzzy extensions on applications. *Appl Soft Comput* 46:60–89
- [7] Biswas, B., Lacey, J.R., Workman, J.P., and Siddoway, F.H. (1984). Profit Maximization as a Management Goal on Southeastern Montana Ranches. *Western Journal of Agricultural Economics* 9(1): 186-194.
- [8] Anvari, A., Zulkifli, N., & Arghish, O. (2013). Application of a modified VIKOR method for decision-making problems in lean tool selection. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 71(5-8), 829–841
- [9] Gul, M., & Ak, M. F. (2018). A comparative outline for quantifying risk ratings in occupational health and safety risk assessment. *Journal of Cleaner Production*, 196, 653-664.
- [10] "Faostat," from <http://www.fao.org/faostat/en>
- [11] Gul, M., Ak, M. F., & Guneri, A. F. (2016). Occupational health and safety risk assessment in hospitals: A case study using a two-stage fuzzy multi-criteria approach. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 23(2), 187–202.
- [12] "TUIK" from <http://www.tuik.gov.tr/>
- [13] Goker, N., Dursun, M., & Albayrak, Y. E. (2019). Agile Supplier Evaluation Using a Fuzzy Decision Making Procedure Based on Fuzzy Measure and Fuzzy Integral. *Intelligent and Fuzzy Techniques in Big Data Analytics and Decision Making Advances in Intelligent Systems and Computing*, 457–463.
- [14] Ksenija, M., Boris, D., Snezana, K., Sladjana, B. (2017). Analysis of the efficiency of insurance companies in Serbia using fuzzy AHP and TOPSIS methods. *Economic Research* 30(1), 550-565.
- [15] "OECD" from <http://data.oecd.org/>
- [16] Stavrou, D. I., Ventikos, N. P., & Siskos, Y. (2016). Locating Ship-to-Ship (STS) Transfer Operations via Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA): A Case Study. *Multiple Criteria Decision Making*, 137-163
- [17] Aragon\_es-Beltr\_an P, Mendoza-Roca JA, Bes-Pi\_a A, et al. 2009. Application of multi-criteria decision analysis to jar-test results for chemicals selection in the physical-chemical treatment of textile wastewater. *J Hazard Mater* 164(1):288–95.
- [18] Ozdemir, Y., Basligil, H., & Ak, M. F. (2016). Airport Safety Risk Evaluation Based On Fuzzy Anp And Fuzzy Ahp. *Uncertainty Modelling in Knowledge Engineering and Decision Making*.
- [19] Zadeh, L. A. (1975). The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning-I. *Information sciences*: 8: 199-249. Gul, M., & Ak, M. F. (2018). A comparative outline for quantifying risk ratings in occupational health and safety risk assessment. *Journal of Cleaner Production*, 196, 653-664.
- [20] Saaty TL. 1990. How to make a decision: The analytic hierarchy process. *Eur J Oper Res* 48(1):9–26 Tzeng GH and Huang JJ. 2011. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. CRC Press, Boca Raton, FL
- [21] Yekta, T.S., Khazaei, M., Nabizadeh, R., Mahvi, A. H., Nasser, S., Yari, A.R. (2015), Hierarchical distance-based fuzzy approach to evaluate urban water supply systems in a semi-arid region, *Journal of Environmental Health Science and Engineering*: 13(53): 1-12.
- [22] Kabir, G., & Sumi, R. S. (2012). Selection of Concrete Production Facility Location Integrating Fuzzy AHP with TOPSIS Method. *International Journal of Productivity Management and Assessment Technologies*, 1(1), 40–59.
- [23] Tzeng, G. H., & Huang, J.-J. (2011). *Multiple attribute decision making: methods and applications*. Boca Raton, FL: CRC Press.



# Farklı Kurutma Yöntemlerinin İzmir Tipi Tütün Çeşitlerinde Bazı Kimyasal Özellikleri ile Verim ve Tütün Kalitesine Etkileri

Sıdıka Ekren<sup>1\*</sup>, Deniz Vural<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Bornova/İzmir (ORCID: 0000-0002-6812-9586)

(İlk Geliş Tarihi 12 Eylül 2019 ve Kabul Tarihi 27 Ekim 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.619270)

**ATIF/REFERENCE:** Ekren, S. & Vural, D. (2019). Farklı Kurutma Yöntemlerinin İzmir Tipi Tütün Çeşitlerinde Bazı Kimyasal Özellikleri ile Verim ve Tütün Kalitesine Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 509-514.

## Öz

Bu çalışmanın amacı farklı kurutma yöntemlerinin İzmir tipi tütün çeşitlerinin bazı kimyasal özellikleri ile verim ve tütün kalitesine etkilerini belirlemektir. Araştırma 2018 yılında Denizli ili Acıpayam ilçesinde yürütülmüştür. Tesadüf blokları deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak kurulmuştur. Çalışmada İzmir-Özbaş, Birlik-124, Birlik-128 ve Sarıbağlar-407 tütün çeşitleri ile geleneksel yöntem, vento makinası, elek usulü kurutma ve dizim makinası olmak üzere dört farklı tütün çeşidi ve kurutma yöntemi kullanılmıştır. Denemede toplam alkaloid (nikotin) (%), toplam indirgen şeker (%), ham kül (%), verim (kg ha<sup>-1</sup>) tütün ekspertiz kalitesi gibi özellikler incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre; nikotin, toplam indirgen şeker, ham kül ve verim değerleri sırasıyla %0.55-1.27, %8.59-15.39, %17.6-27.8 ve 46-105 kg/da olarak bulunmuştur. En yüksek ekspertiz kalitesi geleneksel yöntemle kurutulan tütünlerden elde edilmiştir. Kurutma yöntemleri ve tütün çeşitleri bakımından en iyi sonuçlar Sarıbağlar-407 tütün tipinden ve geleneksel kurutma yönteminden saptanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Tütün Tipi, Kurutma, Kimyasal Özellik, Verim ve Kalite

## The Effects of Different Curing Methods on Yield and Tobacco Quality With Some Chemical Components of Izmir Type Tobacco

### Abstract

The objective of this study was to determine the effects of different curing methods on yield and tobacco quality with some chemical components of Izmir type tobacco. This research was conducted in Acıpayam, Denizli province in 2018. The experimental design was randomized complete block design with three replications. Four tobacco varieties and curing methods including Izmir-Ozbas, Birlik-124, Birlik-128, Saribaglar-407 and traditional, vento machine, curing on wire screen, mechanical stringing were used in this study. In the research, total alkaloid (nicotine) (%), total reducing sugar (%), crude ash (%), yield (kg ha<sup>-1</sup>) and tobacco expertise quality were determined. According to the results, nicotine, total reducing sugar, crude ash and yield were 0.55-1.27%, 8.59-15.39%, 17.6-27.8% and 46-105 kg ha<sup>-1</sup>, respectively. The highest tobacco expertise quality were determined in traditional curing method. Better results were obtained in traditional curing methods at Saribaglar-407 tobacco variety in terms of curing methods and tobacco varieties.

**Key Words:** Tobacco Type, Curing, Chemical Properties, Yield and Quality

\* Sorumlu Yazar: Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, İzmir, Türkiye, ORCID: 0000-0002-6812-9586, [sidika.ekren@ege.edu.tr](mailto:sidika.ekren@ege.edu.tr)



## 1. Giriş

Tütün, keyf verici özelliğinden dolayı çok eski zamanlardan bu yana insanlar tarafından kullanılan bir bitkidir. Bu özelliği ile diğer tarla bitkilerine göre fark yaratmış ve günümüze kadar artan bir değer kazanmıştır. Fide yetiştirmesi, kırımı, kurutulması ve işlenmesi ile de başlı başına özellikleri olan bir endüstri bitkisidir.

Türk tarımının geleneksel ihraç ürünleri arasında yer alan bu bitkinin ülkemiz açısından ekonomik öneminin yanı sıra geniş bir üretici kesiminin de gelir kaynağını oluşturması yönüyle de değeri fazladır. Ülkemizde üretilen tütünlerin hemen hemen tamamını oriental tipi tütünler oluşturmaktadır. 2017 yılı itibariyle ülkemizde üretilen tütünün % 60.5'i Ege, % 15.8'i Güneydoğu, % 11.9'u Karadeniz, % 2.6'sı Marmara, % 2.5'i Akdeniz ve % 6.6'sı Doğu Anadolu Bölgemizde üretilmektedir. % 60.5'lik pay ile ilk sırada yer alan bölgemizin 2017 yılı üretim miktarı 44.918 kilodur. Üretimde birinciliği koruyan Ege Bölgesi, dış satım bakımından da önemli bir yere sahiptir ve 2017 yılında ihracatı yapılan tütünlerin % 78.8'i bu bölgeden karşılanmıştır (Anonim, 2018).

Ülke ekonomisi açısından önemli olan bu bitkinin yıldan yıla ciddi boyutta bir azalışı söz konusudur. Bu azalışın temel nedenlerinin başında üreticiye ödenen birim fiyatın yetersizliği gelmektedir. Yoğun bir emek ve iş gücü isteyen tütün tarımının tohumundan hasatına, hasatından işlenmesine kadar her evresinin iyi bilinmesi gerekir. Bu evrelerdeki işlemlerden en önemli olanı ise kurutmadır. Tütünlerin el el hasat edilmesi ve hasat edilmiş tütün yapraklarının dizim maliyetlerinin de birim fiyata göre yüksek olması üretici için ekonomik anlamda önemli bir dar boğaz olarak görülmektedir.

Oriental tütünler genellikle, güneşte veya plastik örtülü tünellerde kurutulmaktadır. Ancak son yıllarda üretim maliyetlerini tütün kalitesini düşürmeden farklı kurutma yöntemleri geliştirilmektedir. Geleneksel kurutma yöntemine alternatif olarak file usulü ile kurutma sistemi ve elekte kurutma yöntemleri gibi metotlar da kullanılmaya başlanmıştır. Hasat sonrası işçiliğin azaltılmasını amaçlayan bu yöntemler Orta Karadeniz, Doğu ve Güneydoğu Anadolu ve araştırma tarlamızın da içinde bulunduğu Ege Bölgesi'nde belirli üretim merkezlerinde, firmaların öngördüğü çiftçiler ile yapılmaktadır.

Çalışmamızda, Ege Bölgesi tütüncülüğünde önemli üretim merkezlerinden olan Tavas yöresinde, farklı kurutma yöntemlerinin İzmir tipi tütün çeşitlerinde, bazı kimyasal özellikler ile verim ve ekspertiz kalitesi üzerine etkisinin araştırılması amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

Çalışma 2018 yılı tütün üretim sezonunda Denizli ili Acıpayam ilçesinde yürütülmüştür. Tesadüf blokları deneme deseni'ne göre 3 tekerrürlü olarak yürütülen araştırmada İzmir-Özbaş, Birlik-124, Birlik-128 ve Sarıbağlar-407 tütün çeşitleri deneme materyali olarak kullanılmıştır. Tablo 1'de kullanılan çeşitlerin bazı genel özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 1. Denemede Kullanılan Tütün Çeşitlerinin Bazı Özellikleri

	<b>İzmir Özbaş</b>	<b>Birlik 124</b>	<b>Birlik 128</b>	<b>Sarıbağlar 407</b>
<b>Toprak isteği</b>	<b>Kır taban, Tınlı kumlu</b>	<b>Hafif eğimli, Kır - Kır taban</b>	<b>Hafif eğimli, Kır - Kır taban</b>	<b>Hafif eğimli</b>
<i>Bitki boyu (cm)</i>	Orta ya da uzun boylu	Orta boylu	Orta boylu	Orta boylu
<i>Yaprak sayısı (adet/bitki)</i>	26 - 48	41 - 44	40 - 42	30 - 45
<i>Yetiştirme özellikleri</i>	Kuraklığa ve mavi küfe dayanıklı	Kuraklığa dayanıklı	Kuraklığa dayanıklı	Kuraklığa dayanıklı, mavi küfe karşı hassas
<i>Verim (kg/da)</i>	80 - 150	90 - 150	80 - 130	80 - 120

Tütün tohumları çok küçük olduğu için fidelikte pişkin fide haline gelinceye kadar yetiştirilip sonra tarlaya dikilmiştir. Tohumların fidelige ekimi Şubat ayında m<sup>2</sup>'ye 0.6 g tohum gelecek şekilde fidelik harcına ekilmiştir. Fidelerin yetiştirme döneminde fidelikte havalandırma, sulama, yabancı ot temizliği gibi kültürel işlemler fidelerin ihtiyacına ve ortam koşullarına göre düzenli aralıklarla yapılmıştır. Tarla fidelerin dikiminden önce sonbaharda derin ilkbaharda dikimden 1 ay önce ise normal sürüm yapılmış ve tırmık çekilmiştir. Dikim öncesi dekara 10 kg 15:15:15 kompoze gübresi uygulanmıştır. Pişkin hale gelen fideler fidelikten elle sökülerek tarlaya Nisan-Mayıs aylarında tütün dikim makinası ile 40x10 cm dikim normunda dikilmiştir. Dikim sonrası fidelere can suyu verilmiştir. 2 kez çapalama yapılan bitkiler hasat olgunluğuna gelince elle kırılarak hasat işlemi gerçekleştirilmiştir. 3 elde tamamlanan hasat Temmuz-Ağustos aylarında yapılmıştır. Kırımı yapılan tütün yaprakları 4 farklı şekilde kurutulmuştur.

1. Geleneksel yöntemle kurutma
2. Elek usulü yöntemle kurutma
3. Dizim makinası ile dizilmiş tütünlerin kurutulması
4. File makinası (vento) yöntemiyle kurutma

1. Geleneksel Yöntemle Kurutma: Ege Bölgesi tütünlerinde kullanılan bir yöntemdir. Izgarada kurutma da denilmektedir. Kargılar birbirleriyle temas etmeyecek ve hava alacak şekilde izgaraya yerden 60-80 cm yükseklikte yerleştirilir. Yaprak ayasının kuruması

ortam şartlarına ve el grubuna değişmekle birlikte 4-8 gün arasında sürmektedir. Daha sonra yaprak damarının kuruması için kargılar yere serilir. 4-6 gün süresince damar kuruması tamamlanır ve tütünler istifeye alınır.

2.Elek usulü yöntemle kurutma: İşçilik maliyetlerini azaltmak için son yıllarda kullanılan bir yöntemdir. Etrafına çıta çatılmış paslanmaz bir tel üzerine tütünler pastal sıralar halinde serilir. Ortam sıcaklığına göre tütünlerin kurutulması 7-12 günde tamamlanmaktadır.

3.Dizim makinası ile dizilmiş tütünlerin kurutulması: Kırımı yapılan tütün yaprakları boyutlarına göre her göze eşit miktarda gelecek şekilde dizim makinasının içerisinde bulunan kasetlere yerleştirilir. İğnelere ipler geçirilerek kırılan yapraklar önce iğneye oradan da ipe geçirilerek kurutmaya bırakılır.

4.File makinası (vento) yöntemiyle kurutma: Kırılan tütün yaprakları daha önceden istenen boyutlarda hazırlanmış olan filelere doldurulmak adına, makinenin besleme ünitesine doldurulur. Besleme ünitesinden homojen bir şekilde vakum ünitesine gönderilen tütün yaprakları vakum yardımı ile filelere aktarılır. File, istenen dolum ağırlıklarına ulaştığında makine durdurularak file ağızları bağlanır. Ardından boy ve kilo ölçümleri gerçekleştirilir. Dolumu tamamlanan filelerin yatay veya dikey olarak kurutulması söz konusu olup yerde kurutulma yapılmamalıdır. Bunun sebebi ise yerde kurutmada alttan ve üstten hava akışı olmamakta ve tütün yaprakları kararmaktadır. Soldurma süresi, el gruplarına göre değişmekle beraber 24-48 saat, kurutma süresi ise 10-15 gün sürmektedir. Yaprakları tamamen kurumuş olan fileler istiflenip, tavlanmıştır (Anonim, 2012).

Her bir yönteme göre ayrı ayrı kurutulan tütünlerden 1'er kg'lık örnek tesadüfi olarak alınmış ve toplam alkaloid (nikotin) (%) (Anonim, 1969), toplam indirgen şeker (%) (Lindsay, 1973), ham kül (%) (Nelson, 1960), verim (kg/da) ve ekspertiz değerlendirmesi (randıman) (Anonim, 2006) gibi özellikler incelenmiştir. Verilerin istatistiki değerlendirmesi Tesadüf Blokları Deneme Deseni'ne göre 3 tekerrürlü olarak Totem Stat programında yapılmıştır (Açıkgöz ve ark., 2004).

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Toplam İndirgen Şeker (%)

Toplam indirgen şeker oranına ilişkin elde ettiğimiz rakamlara uygulanan istatistiki analiz sonucunda kurutma yönteminin, tütün çeşitlerinin ve kurutma yöntemi\*tütün çeşitleri interaksiyonlarının istatistiksel açıdan önemli oldukları Tablo 2'de görülmektedir. En yüksek şeker içeriği %16.66 ile Sarıbağlar-407 çeşidinin geleneksel yöntem ile kurutulmasında elde edilmiştir. En düşük şeker oranı ise Birlik 124 çeşidinin dizim makinası (%8.59) ile kurutulmasında bulunmuştur. Çeşitler ve kurutma yöntemleri açısından en yüksek şeker miktarları, %13.59 ile Sarıbağlar-407 çeşidi ve %13.70 ile geleneksel yöntem; en düşük ise %10.53 ile Birlik-128 çeşidi ve % 9.94 şeker oranı ile dizim makinası ile kurutulan tütünlerde tespit edilmiştir. Tütünde şeker miktarının belirli bir düzeye kadar olmasının istendiğini ve düşük şeker içeriği kadar yüksek şekerin de kaliteyi olumsuz etkilediğini tespit edilmiştir (Tso, 1972). Çalışmamızda bulduğumuz şeker içerikleri %8.59-16.66 arasında değişmiştir.

Ege tütünlerinin şeker içeriklerinin yüksek olması ürünün kaliteli olduğu anlamına gelmekte olup bu durum sınırlı bir çerçevede kabul edilmektedir. Çünkü tütün mamulü harmanlarında protein oranı ve onların karbonhidratlara göre katsayısı çok önemlidir. Karbonhidratların diğer maddelerle olan dengesi içim kalitesini ortaya koyan önemli bir kalite ögesidir. İzmir menşei tütünlerde şeker içeriği %8-10'dan düşük ise istenilen kalite kriterleri bakımından yetersiz olarak değerlendirilmektedir. (Mercimek, 2016). Yaprak tütün örneklerinde şeker miktarları onların ekspertiz kalitesi üzerine de etkili olmaktadır. Randıman oranı yüksek olan tütünlerin şeker miktarları da makul oranda yüksektir. Düşük kaliteli tütünlere doğru şeker içerikleri azalmaktadır (Sekin, 1979). Araştırmamızda elde ettiğimiz verilere benzer rakamlar Sekin ve Peksüslü, (1995), Ekren (2007) ve Çelen ve ark., (2015) ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Tablo 2. Farklı Kurutma Yöntemi ile Kurutulan Tütün Çeşitlerinin Toplam İndirgen Şeker içerikleri (%)

Kurutma/Çeşit	Vento	Elek	Dizim Makinası	Geleneksel	Ortalama
Birlik 124	9,47 <sup>b</sup>	14,30 <sup>a</sup>	8,59 <sup>b</sup>	10,31 <sup>b</sup>	10,67 <sup>b</sup>
Birlik 128	11,30 <sup>a</sup>	9,33 <sup>a</sup>	9,06 <sup>a</sup>	12,44 <sup>a</sup>	10,53 <sup>b</sup>
İzmir Özbaş	11,90 <sup>bc</sup>	16,17 <sup>a</sup>	10,43 <sup>c</sup>	15,39 <sup>ab</sup>	13,47 <sup>a</sup>
Sarıbağlar 407	14,50 <sup>ab</sup>	11,49 <sup>b</sup>	11,69 <sup>b</sup>	16,66 <sup>a</sup>	13,59 <sup>a</sup>
Ortalama	11,79 <sup>b</sup>	12,82 <sup>ab</sup>	9,94 <sup>c</sup>	13,70 <sup>a</sup>	12,07

p<0.05 LSD<sub>ç</sub> 1.827\*\* p<0.05 LSD<sub>k</sub> 1.827\*\* p<0.01 LSD<sub>çxk</sub> 3.654\*

### 3.2. Toplam Alkaloid (Nikotin) (%)

Toplam alkaloid oranlarına ilişkin veriler Tablo 3’de verilmiştir. Kurutma yöntemlerine göre değişimler  $p < 0.05$ , tütün çeşitlerine göre  $p < 0.01$  düzeyinde önemli bulunurken, aralarındaki interaksiyonun önemsiz olduğu belirlenmiştir. Tablo 3’de nikotin içerikleri %0.36-1.27 arasında değiştiği saptanmıştır. Kurutma yöntemleri bakımından nikotin oranlarına ilişkin değerler incelendiğinde en yüksek nikotinin %1.19 ile dizim makinasından, en düşük ise %0.62 ile elek usulü kurutma yönteminden elde edilmiştir. Çeşitler açısından ise Birlik124 çeşidi %1.05 ile en yüksek nikotin içeriğine sahip olurken, %0.78 ile Sarıbağlar-407’de en düşük nikotin oranını tespit edilmiştir.

Çalışmamızda kurutma yöntemleri açısından nikotin miktarı en yüksek dizim makinasında bulunmuş onu sırasıyla geleneksel, vento ve elek usulü yöntemler izlemiştir. Elek ve filede kurutulan tütünler dizim yapılmadan gelişigüzel elek üzerine serilmiş ve file içerisine doldurulmuştur. Yapraklarda su kaybı dizim makinası ve geleneksel yöntemde daha hızlı ve daha fazla olmuştur. Tütünün kimyasal kompozisyonu (nikotin, şeker vb) yetiştirildiği yörenin iklim, toprak özellikleri, uygulanan kültürel işlemler, hasat zamanı ve kurutma işlemlerine göre farklılıklar göstermektedir. Sigara harmanlarında nikotin miktarının yüksek olması içim kalitesi açısından etkilemektedir. Boğazda sertlik, acılık gibi fizyolojik etkiler yaratmaktadır. İçim kalitesi açısından büyük önem taşıyan nikotin miktarı Ege Bölgesi tütünlerinde % 0.51-0.85 oranlarında olduğunu bildirmişlerdir (Peksüslü ve Gencer, 2001).

Kırımı yapılmış tütün yapraklarında, soldurma ve sarartma aşamasından 3-5 gün sonra yaprağın canlılığı %50 oranında devam etmektedir. Nişastanın hidrolize olması ve hasattan 7-8 gün sonra %3-4 oranında bulunması hızlı bir şekilde şekere dönüşmesi ile gerçekleşmektedir. Bu aşamada azotun da belirgin bir şekilde aminoasitlere parçalanması söz konusu olmaktadır (Wolf, 1962).

Ege Bölgesi için nikotin miktarının %1 civarında olması istenmektedir. Yapılan çalışmalarda nikotin içeriği %0.25-1.90 arasında değişen sonuçlar verdiği belirlenmiştir (Uz, 1997; Ekren, 2007; Çelen ve ark., 2015). Araştırmamızda bulduğumuz sonuçlar belirtilen nikotin aralıkları arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Tablo 3. Farklı Kurutma Yöntemi ile Kurutulan Tütün Çeşitlerinin Toplam Alkaloid (Nikotin) İçerikleri (%)

Kurutma/Çeşit	Vento	Elek	Dizim Makinası	Geleneksel	Ortalama
Birlik 124	0,86	0,87	1,19	1,27	1,05 <sup>a</sup>
Birlik 128	0,68	0,61	1,22	1,11	0,91 <sup>ab</sup>
İzmir Özbaş	1,07	0,36	1,27	0,81	0,88 <sup>ab</sup>
Sarıbağlar 407	0,55	0,65	1,09	0,83	0,78 <sup>b</sup>
Ortalama	0,79 <sup>c</sup>	0,62 <sup>c</sup>	1,19 <sup>a</sup>	1,01 <sup>b</sup>	0,90

$p < 0.01$  LSD<sub>ç</sub> 0.185\*\*  $p < 0.05$  LSD<sub>k</sub> 0.185\* LSD<sub>çxk</sub> ns

### 3.3. Ham Kül (%)

Ham kül oranına ilişkin verilere uygulanan istatistiki değerlendirme sonucunda kurutma yöntemleri, çeşitler ve bunlar arasındaki interaksiyon önemsiz bulunmuştur (Tablo 4). Rakamsal arası farklılık söz konusudur. Elde edilen ham kül oranları %17.6-27.8 arasında değişim göstermiştir. En yüksek ham kül %24.8 ile Birlik-128 tütün çeşidinde, %24 kül içeriğiyle elek usulü kurutma yönteminde saptanmıştır.

Kül oranı tütün kalitesini belirleyen önemli bir faktördür. Yaprakta kül içeriği ile yaprak tütün kalitesi arasında ters bir orantı olduğu saptanmıştır (Sekin, 1979). Ege Bölgesi’nin değişik yörelerinden alınan tütün örneklerinde yapılan ham kül değerleri %11.26-25.07 arasında belirlenmiştir (Tuncay ve ark., 1985; Uz, 1997; Gencer, 2001; Ekren, 2007 ve Mercimek, 2016). Araştırmada bulduğumuz bu değerler yukarıda adı geçen literatür bilgileriyle uyumlu olduğu görülmektedir.

Tablo 4. Farklı Kurutma Yöntemi ile Kurutulan Tütün Çeşitlerinin Ham Kül İçerikleri (%)

Kurutma/Çeşit	Vento	Elek	Dizim Makinası	Geleneksel	Ortalama
Birlik 124	23,3	22,5	23,4	24,3	23,4
Birlik 128	26,0	24,9	22,9	25,4	24,8
İzmir Özbaş	23,3	20,8	24,1	22,2	22,6
Sarıbağlar 407	21,1	27,8	21,4	17,6	22,0
Ortalama	23,4	24,0	23,0	22,6	23,2

LSD<sub>ç</sub> ns LSD<sub>k</sub> ns LSD<sub>çxk</sub> ns

### 3.4. Verim (kg/da)

Tablo 5 incelendiğinde, çeşit ve çeşit\*kurutma yöntemi arasındaki interaksiyon %1, kurutma yöntemleri arasındaki fark ise %5 düzeyinde önemli bulunmuştur. En düşük verim değeri 46 kg/da ile Birlik-128 çeşidinin geleneksel yöntem ile kurutulmasından elde edilmiştir. Verim miktarı en yüksek 105 kg/da ile geleneksel yöntemde Sarıbağlar-407 tütün çeşidinde bulunmuştur. Verim değerleri 46-105 kg/da arasında değiştiği saptanmıştır.

Kurutma yöntemleri açısından sonuçlar yorumlandığında, en yüksek verim 81.8 kg/da ile geleneksel yöntemde bulunmuştur. Onu sırasıyla dizim makinası, vento ve elek usulü kurutma yöntemleri izlemiştir. Aynı çizelgede çeşit ortalamaları değerlendirildiğinde, 86.8 kg/da ile İzmir-Özbaş ve Sarıbağlar-407 tütün çeşitlerinde verim miktarı Birlik-124 ve Birlik-128 çeşitlerine göre daha yüksek tespit edilmiştir. En düşük verim 63 kg/da ile Birlik-128 tütün çeşidinde bulunmuştur.

Kurutma yöntemi ve süresinin verim miktarı üzerine etki edebileceği, güneşte kurutma yöntemi ile kurutulan tütünlerin daha fazla ağırlık kaybına maruz kaldıkları, kurutma gün sayısı arttıkça kuru madde kaybının da arttığı, tütün yaprağının kimyasal içeriğinin de kurutma süresine bağlı olarak değiştiği belirtilmektedir (Özçam ve Sekin, 1983; Sekin, 1987; Yazan ve ark., 1993). Kuru yaprak tütün veriminin Ege Bölgesi tütünlerinde 80-250 kg/da arasında değiştiği görülmüştür (Otan ve ark., 1989; Er, 1994; Uz, 1997, Ekren, 2007). Araştırmamızda elde ettiğimiz bazı verim değerlerinin yukarıda belirtilen verim aralığının altında bulunmuştur. Bu durumun kullanılan tütün çeşidi ve kurutma yönteminden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 5. Farklı Kurutma Yöntemi ile Kurutulan Tütün Çeşitlerinin Verim İçerikleri (kg/da)

Kurutma/Çeşit	Vento	Elek	Dizim Makinası	Geleneksel	Ortalama
Birlik 124	79,3 <sup>b</sup>	65,0 <sup>c</sup>	52,0 <sup>d</sup>	85,0 <sup>a</sup>	70,3 <sup>b</sup>
Birlik 128	73,0 <sup>a</sup>	62,0 <sup>c</sup>	71,0 <sup>b</sup>	46,0 <sup>d</sup>	63,0 <sup>c</sup>
İzmir Özbaş	88,0 <sup>c</sup>	79,0 <sup>d</sup>	89,0 <sup>b</sup>	91,0 <sup>a</sup>	86,8 <sup>a</sup>
Sarıbağlar 407	64,0 <sup>d</sup>	81,0 <sup>c</sup>	97,0 <sup>b</sup>	105,0 <sup>a</sup>	86,8 <sup>a</sup>
Ortalama	76,1 <sup>d</sup>	71,8 <sup>c</sup>	77,3 <sup>b</sup>	81,8 <sup>a</sup>	76,8

$$p < 0.01 \text{ LSD}_{\text{C}} 0.120^{**} \quad p < 0.05 \text{ LSD}_{\text{K}} 0.120^{*} \quad p < 0.01 \text{ LSD}_{\text{CXX}} 0.241^{**}$$

### 3.5. Ekspertiz Değerlendirmesi (Randıman)

Ekspertiz değerlendirme üzerine çeşit, kurutma yöntemi ve çeşit\*kurutma yöntemi arasındaki interaksiyonun p %1 düzeyinde önemli olduğu Tablo 6'da belirtilmiştir. Randıman değerleri 56-70 arasında belirlenmiştir. En düşük verim Birlik-128 tütün çeşidinin dizim makinası ile dizilerek kurutulmasından elde edilen tütünlerde tespit edilmiştir. En yüksek verim ise istatistiki değerlendirme sonucunda aynı grup içerisinde yer alan geleneksel yöntemde kurutulan Sarıbağlar-407 ve İzmir-Özbaş tütün çeşitlerinden elde edilmiş olup sırasıyla 70 ve 69 randıman olarak bulunmuştur.

Kurutma yöntemleri bakımından çizelge incelendiğinde, en iyi randıman geleneksel yöntem ile kurutulan tütünlerde (65 randıman) en düşük ise dizim makinası ile kurutulan tütünlerde (60 randıman) olarak tespit edilmiştir. Vento ve elek usulü yöntemde kurutulan tütünlerin ise randıman miktarı 62 randıman olarak aynı değerde saptanmıştır. Çeşitler açısından ekspertiz değerlendirme 57-66 randıman arasında elde edilmiştir. En yüksek İzmir-Özbaş tütününde belirlenmiş onu sırasıyla Sarıbağlar-407, Birlik-124 ve Birlik-128 tütünleri izlemiştir.

Tütün çevre koşullarından, toprak yapısından uygulanan kültürel işlemlerden ve kurutma yöntemlerinden çok etkilenen bir bitkidir. Geleneksel ve file usulü kurutma yöntemleriyle kurutulan İzmir tütününde, file usulü kurutma yönteminde AG (Amerikan Grad) oranı %42.0; KP (Kapa Grad) ise %22.0; geleneksel kurutma yönteminde ise AG miktarı %32.4, Kapa ise %25.2 olarak belirlenmiştir (Çelen ve ark. 2015).

Çalışmamızda en iyi randıman miktarının geleneksel yöntemle kurutulan tütünlerden elde edildiği sonucuna varılmış ve bu sonucun yöntemi çiftçilerin uzun yıllardan bu yana kullanıyor olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Vento ve elek usulü yöntemde üreticiler yeni yeni geçiş yaptıkları bilinmektedir. Dizim makinası ile dizilerek kurutulan tütünler ise daha çok Karadeniz Bölgesi tütünlerinde uygulanmakta olup Ege Bölgesi tütünlerinde hemen hemen hiç kullanılan bir yöntem olmadığı bilinmektedir.

Tablo 6. Farklı Kurutma Yöntemi ile Kurutulan Tütün Çeşitlerinin Ekspertiz Değerlendirmesi

Kurutma/Çeşit	Vento	Elek	Dizim Makinası	Geleneksel	Ortalama
Birlik 124	61 <sup>c</sup>	64 <sup>a</sup>	61 <sup>b</sup>	61 <sup>b</sup>	62 <sup>c</sup>
Birlik 128	66 <sup>c</sup>	59 <sup>a</sup>	56 <sup>c</sup>	58 <sup>b</sup>	57 <sup>d</sup>
İzmir Özbaş	65 <sup>c</sup>	68 <sup>b</sup>	60 <sup>d</sup>	69 <sup>a</sup>	66 <sup>a</sup>
Sarıbağlar 407	68 <sup>b</sup>	57 <sup>d</sup>	63 <sup>c</sup>	70 <sup>a</sup>	65 <sup>b</sup>
Ortalama	62 <sup>b</sup>	62 <sup>b</sup>	60 <sup>c</sup>	65 <sup>a</sup>	62

p<0.01 LSD<sub>Ç</sub> 0.120\*\*      p<0.01 LSD<sub>K</sub> 0.120\*\*      p<0.01 LSD<sub>ÇXK</sub> 0.241\*\*

#### 4. Sonuç

- Çalışmamızda incelediğimiz kimyasal özelliklere ilişkin sonuçlar Ege Bölgesi tütünleri için istenilen değerler arasındadır.
- Verim miktarı Birlik-124 çeşidi hariç diğer tütün çeşitleri için bölge ortalamasına yakın değerdedir.
- Randıman miktarları açısından yorumlandığında ise orta düzeydedir.
- Kurutma tipleri bakımından verim dâhil tüm özelliklerde **GELENEKSEL KURUTMA** yöntemiyle **SARIBAĞLAR 407** çeşidi en iyi sonucu vermiştir.
- Maliyet ve işgücü yönünden bakıldığında ise **VENTO MAKİNASI** en kârlı kurutma yöntemidir.

#### Kaynakça

- Açıkgöz, N., İlker, E., Gökçöl, A., 2004, Biyolojik araştırmaların Bilgisayarda Değerlendirilmeleri E.Ü. Tohum Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi Yayın No:2 Bornova/İzmir.
- Anonim, 1969, Bestimmung Der Alkaloide in Tabakerzeugnissen. Deutschenormen. DK.663. 57. 543.062. 547. 94 DIN 1024.
- Anonim, 2006. TSE 1000 Türk Tütünleri Standardı UDK 633.71. Ankara.
- Anonim, 2012. İzmir Tütünü Yetiştirme Tekniği. Ege İhracatçı Birlikleri. İzmir.
- Anonim, 2018. Tütün Raporu. Tütün Ekspertleri Derneği. İzmir.
- Çelen, A.E., Yuksel, O., Ekren, S. ve İlker, E., 2015. The Effects of Different Curing Methods on Some Chemical Properties and Tobacco Quality of Izmir Type Tobacco. 26th International Scientific Expert Conference of Agriculture and Food Industry. 27-30 September 2015. Sarejova/Bosna-Herzegovina. (Oral Presentation)
- Ekren, S., 2007, Ege Bölgesi Tütünlerinde Verim ve Kalitenin Değişmesinde Etkin Olan Faktörlerin Araştırılması. E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi. Bornova-İzmir.
- Er, C., 1994. Tütün. İlaç ve Baharat Bitkileri. A.Ü.Z.F. Yayınları. Yayın No: 1359. Ankara.
- Gencer, S., 2001. Türkiye Tütün Çeşitleri. Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Yayınları. Yayın No: 101. Menemen / İzmir.
- Lindsay, H., 1973, A Clorimetric Estimation of Reducing Sugars in Potatoes. Potato Res. 16: 176-179.
- Mercimek, V.H., 2016. Oriental Tütünde (Nicotiana tabacum L.) Hasat Sonrası Farklı Kurutma Sistemlerinin Verim ve Kalite Özelliklerine Etkileri. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü. Tarla Bitkileri Anabilim Dalı. Tokat.
- Nelson, R.A., 1960, Potantiometric Determination of the Chloride Content of Tobacco. Journal of the A.O.C 43. 3 518.
- Otan, H., Apti, R., 1989. Tütün. T.C. T.O.K.İ.B. Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Yayınları No: 83. Menemen-İzmir.
- Özçam, A., Sekin, S., 1983. Ege Bölgesinde Uygulanan Değişik Kırım Zamanı ve Kurutma İşlemlerinin Ege 64 Tütününün Kalitesinde Meydana Getirdiği Değişmeler. Tekel Enstitüleri Yayın No Tekel 277 EM/001. İstanbul.
- Peksüslü, A. ve Gencer. S 2001. Ege Bölgesi Tütünlerinin Kimyasal Özelliklerinin Saptanması. Ege İhracatçı Birlikleri. 2000 Yılı sonuç Raporu. E.T.A.E. Menemen/İzmir.
- Sekin, S., 1987. Tütün Biyokimyası ve Teknolojisi. Ege Üniv. Zir. Fak. Yüksek Lisans Ders Notları. Bornova/İzmir.
- Sekin, S., 1979. Tütünde Bazı Analiz Yöntemleri Üzerinde Araştırmalar.Ege Bölgesi Tütünlerinin Kimyasal Bileşimleri ve Fermantaston Sırasında Meydana Gelen Değişmeler. E.Ü.Z.F. Agronomi-Genetik Kürsüsü (Doçentlik Tezi) Bornova/İzmir.
- Sekin, S. ve Peksüslü, A., 1995. Ege Tütün Genotip ve İslah Hatlarının Performansları 1993-1995). I. Agronomik Özellikler. Milli Tütün Komitesi Bilimsel Araştırma Alt Komitesi 13. Toplantısında Sunulan Bildiriler ve Toplantı Tutanakları. 25-27 Ekim 1995. Cevizli/İstanbul.
- Tso, T.C., 1972. Physiology and Biochemistry of Tobacco Plant. Dowden. Hutchinson and Ross. Inc. Stroudsburg. Pa.
- Tuncay, H., S., Sekin, A., Özçam, 1985. Akhisar-Manisa Bölgesinde Tütün Yetiştirilen Toprakların Toprak Özellikleri ve Toprak Özellikleri ile Tütün Kalitesi Arasındaki İlişkiler. Araştırmalar. Doğa Tu. Tar. Or. D.C.10.S.3.
- Uz, E., 1997, İki Ege Tütün Çeşidinde Farklı Dikim Zamanları ile Plastik Örtülü Yüksek Tünelde Kurutmanın Verim ve Kalite Üzerine Etkileri. E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. (Doktora Tezi). Bornova/İzmir.
- Wolf, F.A., 1962, Aromatic or Oriental Tobaccos. Duke University Pres.Durhan. N.C.
- Yazan, G., Apti, R., Usturalı, R., Dizdaroğlu, T., Otan, H., 1993. Ege Bölgesi Tütünlerinin Plastik Örtü Altında Kurutulması. Anadolu. J. Of AARI 1 (1993). 73-97. MARA. ETAE Menemen/İzmir.





# Fidelik Harcına Uygulanan Bazı Bitki Besin Elementlerinin Fide Kalitesi Üzerine Etkileri

Sıdıka Ekren<sup>1\*</sup>, Halil Buğra Yalman<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Bornova/İzmir (ORCID: 0000-0002-6812-9586)

(İlk Geliş Tarihi 13 Eylül 2019 ve Kabul Tarihi 22 Ekim 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.619933)

**ATIF/REFERENCE:** Ekren, S. & Yalman, H. B. (2019). Fidelik Harcına Uygulanan Bazı Bitki Besin Elementlerinin Fide Kalitesi Üzerine Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 515-521.

## Öz

Bu çalışma 2019 yılında Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü fideliginde fidelik harcına uygulanan farklı bitki besin elementlerinin fide kalitesi üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. İzmir-Özbaş tütün çeşidinin kullanıldığı araştırma Tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Çalışmada, fide boyu (cm), yaprak sayısı (adet/bitki), gövde çapı (mm), fide sayısı (adet/m<sup>2</sup>), kök uzunluğu (cm), yaş gövde ve kök ağırlığı (g/bitki), kuru gövde ve kök ağırlığı (g/bitki) gibi özellikler incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, en uzun fide boyu 20.5 cm, en geniş gövde çapı 4.1 mm ile K2 (400 g/parsel) potasyum dozunda bulunmuştur. Yaprak sayısı 7.8-8.4 adet/bitki, fide sayısı, 2.1-3.3 adet/m<sup>2</sup> ve kök uzunluğu 2.6-2.8 cm aralığında saptanmıştır. Sonuçlar dikkate alındığında uygulanan potasyum dozu ile fide boyu, gövde çapı ve kök uzunluğu artmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Tütün, Gübreleme, Fide, Kalite

## Effects of Some Plant Nutrients Applied to Seedbed Compost on Seedling Quality

### Abstract

This study was carried out to determine the effects of some plant nutrients applied to seedbed compost on seedling quality in 2019 in the seedbed of Ege University, Faculty of Agriculture, Department of Field Crops, in Turkey. In the trial İzmir-Ozbas tobacco variety was used and experimental design was randomized complete parcel design with three replications. In the study, length of the seedling (cm), number of the leaf (per/plant), stem diameter (mm), healthy seedlings per square (pcs/m<sup>2</sup>), length of the root (cm), fresh stem and root weight (g/plant), dry stem and root weight (g/plant) were evaluated. According to the results, the longest length of seedling and stem diameter was found in K2 doses (potassium doses: 400 g/parcel) as 20.5 cm and 4.1 mm, respectively. Besides, number of the leaf, healthy seedling per square and length of the root were 7.8-8.4 per/plant, 2.1-3.3 pcs/m<sup>2</sup>, 2.6-2.8 cm, respectively. Considering the results, as the amount of potassium applied increased, the amount of length of the seedling, stem diameter and length of the root increased as well.

**Key words:** Tobacco, Fertilizer, Seedling, Quality

\* Sorumlu Yazar: Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, İzmir, Türkiye, ORCID: 0000-0002-6812-9586, [sidika.ekren@ege.edu.tr](mailto:sidika.ekren@ege.edu.tr)

## 1. Introduction

Tobacco is an industrial plant of great economic importance in the world and in Turkey. This plant provides wide employment opportunities to a certain group of people from production to evaluation stage and it has been grown in various regions of family agriculture due to its suitability for the ecological conditions and social structure of our country (Ekren, 2007).

In Turkey, oriental tobaccos is grown in six regions in Turkey. Considering the tobacco production properties in these regions, approximately Aegean (75%), Black Sea (11%), South East Anatolia (10%), Marmara (3%), Mediterranean (1%). In addition to this, Aegean Region has an important place in terms of foreign sales (Anonymous, 2018).

Aegean tobaccos are grown in the region with the local name of Aegean Region tobaccos. The type has been cultivated in this region for more than 150 year (Wolf, 1962). Small leaf oriental or aromatic tobaccos and very small amounts of large leaf tobaccos has grown in our country because of suitable for soil type and climatic conditions. The harvested tobacco leaves are sun-cured and characteristics golden yellow leaves have a high aroma and low total alkaloid (nicotine) content. (Gumus Guler, 2008).

The sort of the leaf and the quantity of each in the blend also affect the smoking quality extensively. Minerals which are mainly in charge of promoting the growth and the development of plants have to responsibility to maintain or to increase the quality by controlling the growth in the production. When tobacco is smoked, parts of the mineral matters in different forms directly or indirectly are transferred to the smoke. Some of them are collected in the ash. Tobaccos having high percentage of alkali metals, e.g. Ca, K and Mg are responsible for high ash contents in tobacco types. The minerals directly or organic compound structures indirectly affect the smoking quality of tobaccos and also affect the physical, chemical and quality characteristics of the leaves either positively or negatively (Sekin et al., 2002).

The aim of this research was to determine the effects of plant nutrients on seedling quality in tobacco cultivation.

## 2. Material and Method

The study was conducted in 2018-19 in the seedbed at the outdoor condition of Bornova-Izmir province. Izmir-Ozbas tobacco cultivar was used as a material in the experiment. Average temperature and total rainfall are presented in Figure 1 and 2.

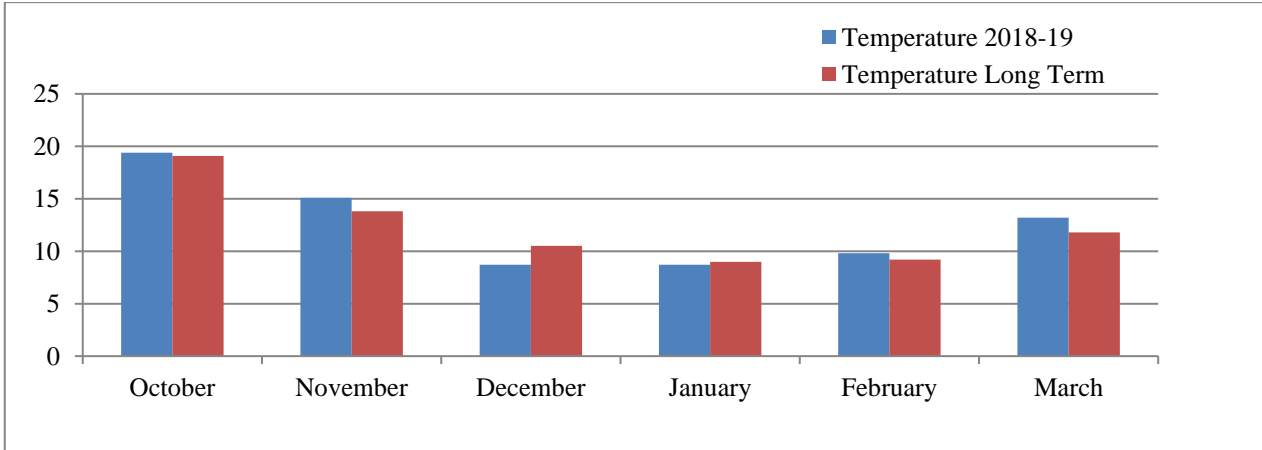


Figure 1. Monthly average temperature in Bornova location

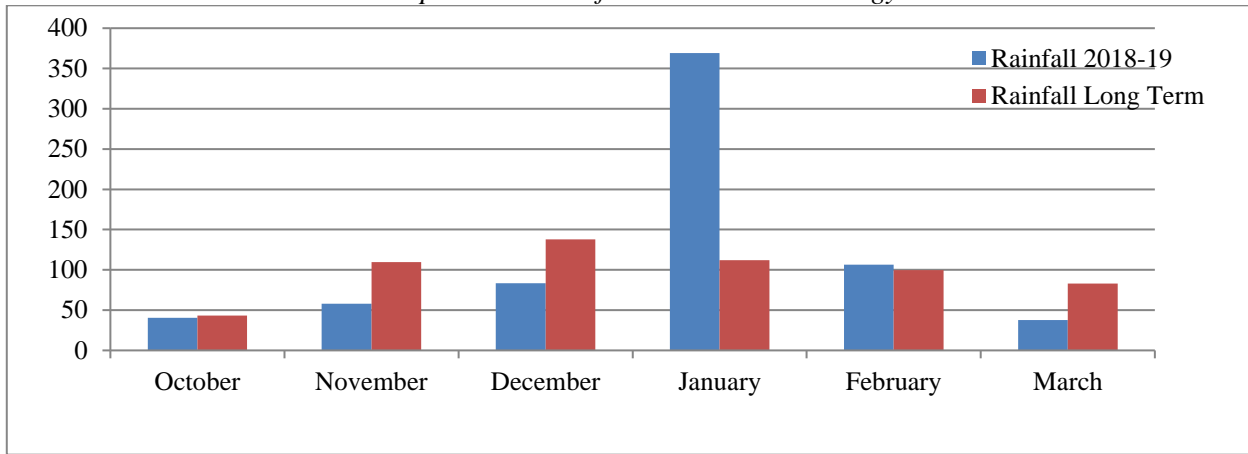


Figure 2. Montly average rainfall in Bornova location

Seedbed oriented in an east-west direction. Seedbed dimension: width: 1.10m, lenght: 10m and height: 20 cm. The seeds with ash mixture were sown (1g m<sup>2</sup>) on the 7<sup>th</sup> December 2018 into a mixture of sand, manure and mulch (1:1:1). The experiment was designed in a randomized complete parcel design with three replications. Each plot 35x110 cm. In the experiment, tobacco plants were applied with N, P, K fertilizers during seedbed (Table 1). Nitrogene and phosphorus doses were kept fixed the potassium doses K0 (control), K1 (200 g/parcel) and K2 (400 g/parcel) were applied.

Table 1. Period of treatment with fertilizers

Fertilizers	Seedbed Period
Ammonium sulfate	Added to the mixture before sowing (8 kg/da)
Di ammonium phosphate (DAP)	Added to the mixture before sowing (10 kg/da)
Potassium sulfate (K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Added to the mixture before sowing (15 kg/da)

In this study some features were determined such as lenght of the seedling (cm), number of the leaf (per/plant), stem diameter (mm, healthy seedlings per square (pcs/m<sup>2</sup>), lenght of the root (cm),fresh stem and root weight (g/plant), dry stem and root weight (g/plant) (Ekren and İlker, 2017).

*Statistical analysis:* The data for all traits were analyzed by the analysis of variance by Acikgoz et al. (2004).

### 3. Research Results and Discussion

Tobacco plants can build up reserve of potassium in the early stages of growth. Tobacco quality may continue to improve as a results of additional rates of potassium beyond those needed for maximum yield. It was understood that potassium doses applied did not have any significant effect on lenght of the seedling, number of the leaves, stem diameter, lenght of the root, fresh and dry stem weight and fresh and dry root weight. In our study, there were statistically significant differences for Healthy seedlings per square in terms of potassium doses.

The longest lenght of the seedling was found K2 doses as 20.5 cm. When we compared to the application doses, lenght of the seedling was increased by appling potassium (Figure 3).

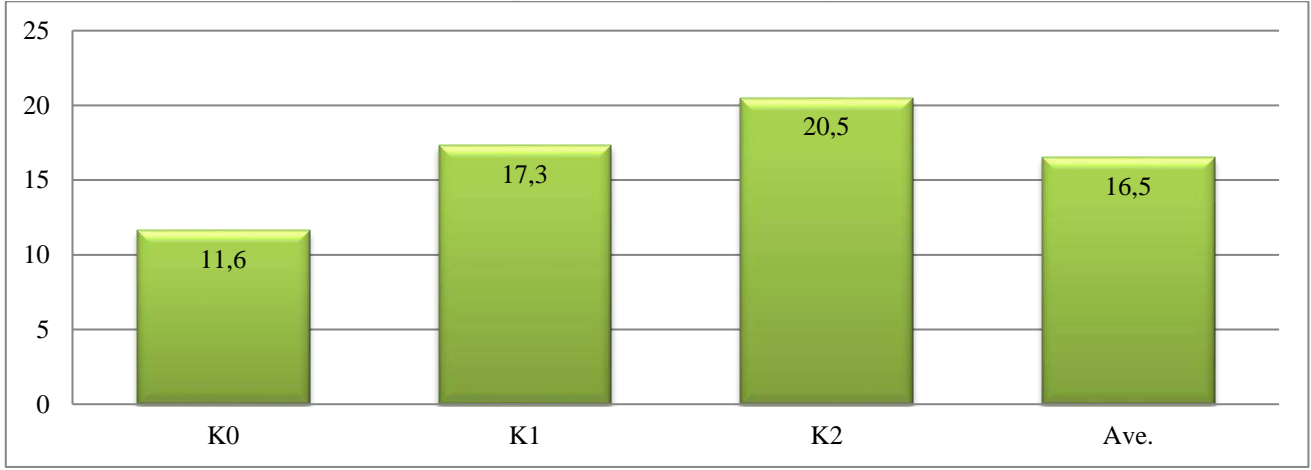


Figure 3. Effects of different potassium doses on length of the seedling (cm)

Pearce et al., (2005) indicates that length of the seedling mostly depends on number of the plants per m<sup>2</sup>, agro-technological measures and technology of seedlings production. In other researchs, length of the seedling was determined between 6 and 21 cm (Turi et al., 2004; Ayan and Caliskan, 2006; Hou-Long et al., 2014, Ekren and Ilker, 2017). The results were consistent with these scientists.

Number of the leaf was determined between 7.8-8.4 pcs/plant and average was 8.1 pcs/plant (Figure 4).

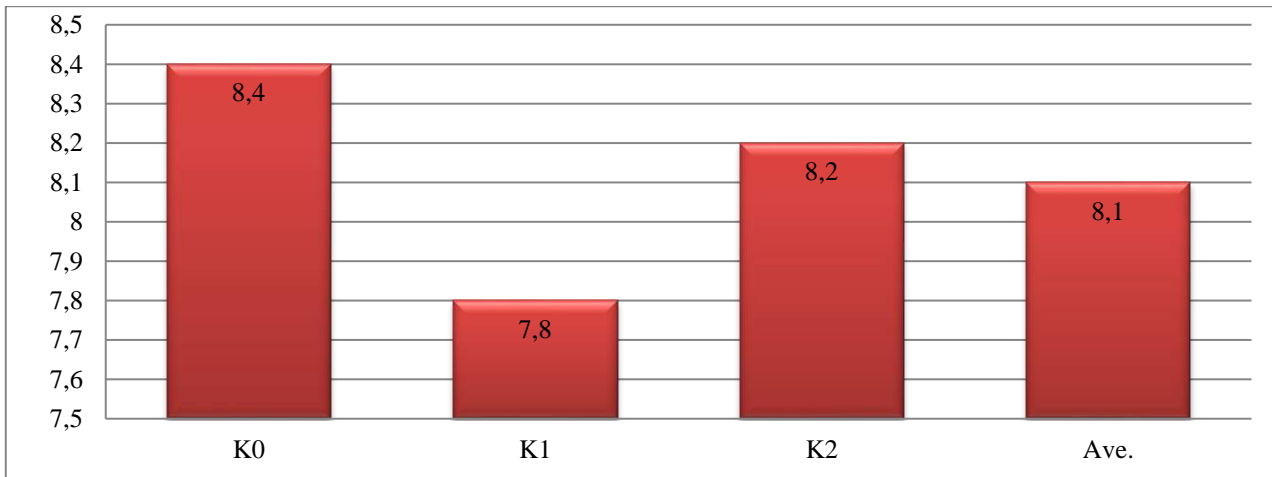


Figure 4. Effects of different potassium doses on number of the leaf (per/plant)

The lowest stem diameter was obtained in K0, the highest was found in K2. Average stem diameter was measured 3.9 mm (Figure 5). Stem diameter was found between 2.6 mm and 5.7 mm in Prilep NS72 and Yaka 125/3 tobacco types (Kabranavo et al., 2014, Turi et al., 2004). Our research results were higher than these scientists since the stem diameter has been affected by the tobacco variety which was used.

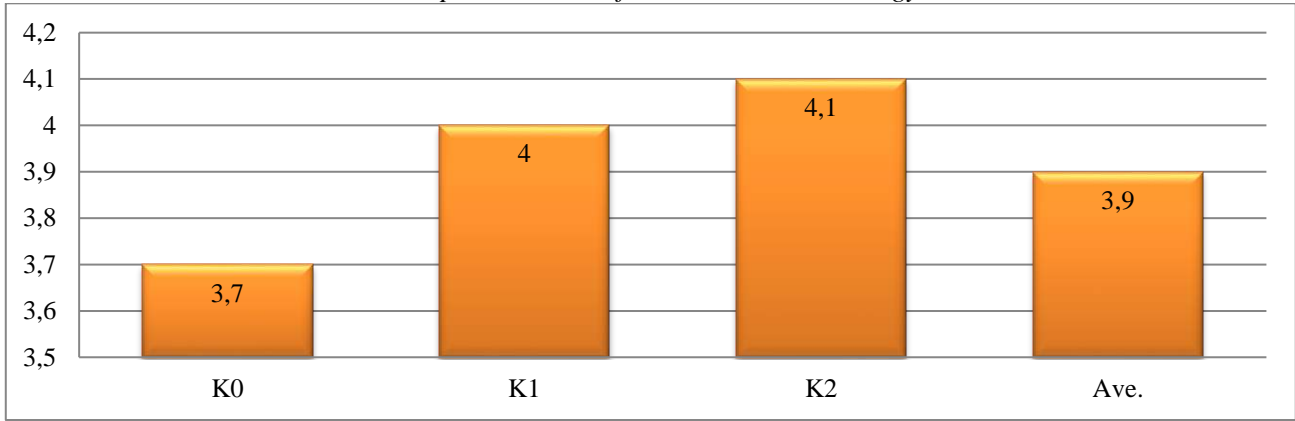


Figure 5. Effects of different potassium doses on stem diameter (mm)

In this study, healthy seedling per square were significant ( $p < 0.05$ ) in terms of potassium doses. The average results were ranged from 2.1 to 3.3 pcs/plant. The highest results were obtained in K1 as 3.3 pcs/plant (Figure 6).

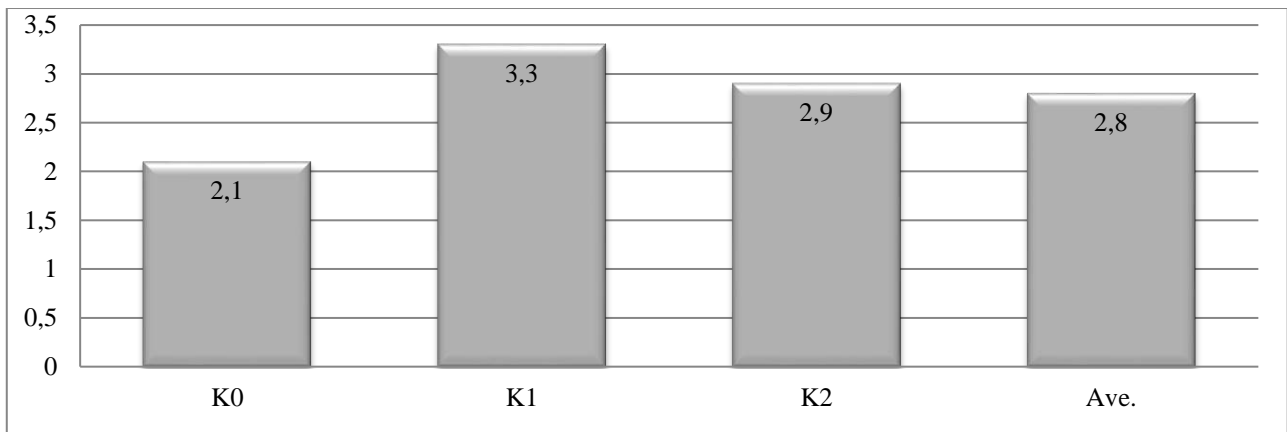


Figure 6. Effects of different potassium doses on healthy seedlings per square (pcs/m<sup>2</sup>)

$p < 0.05$ : 0.757

Ekren and Ilker (2017) was found to be 17.3-24.7 pcs/plant. Our results were lower than these scientist because healthy seedling per square has been affected by sowing time.

As you seen in Figure 7, lenght of the root was obtained between 2.6-2.8 cm. Average result was found in 2.7 cm.

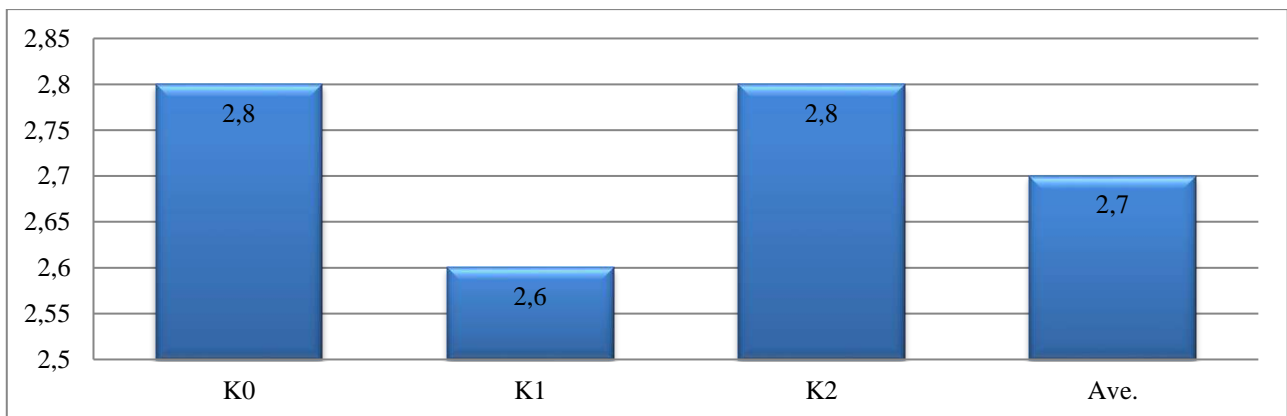


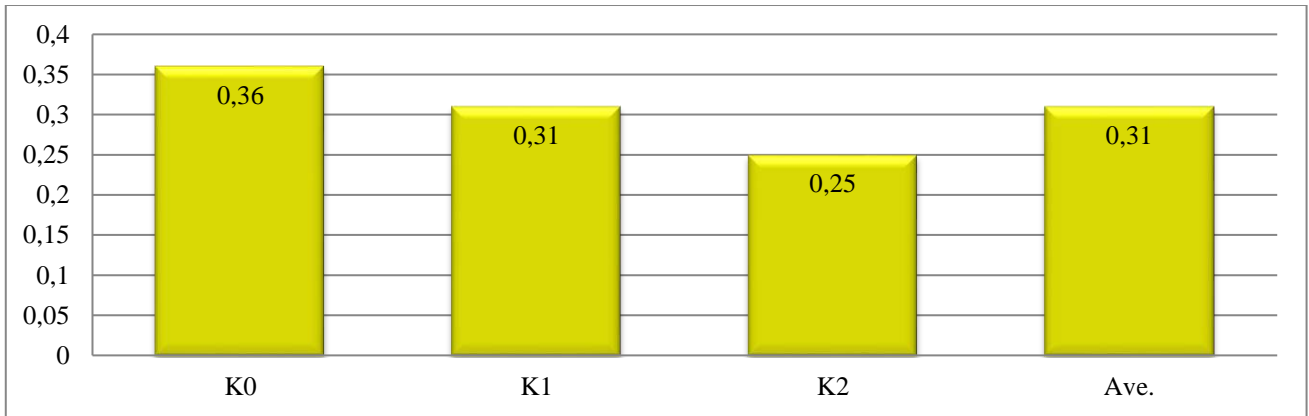
Figure 7. Effects of different potassium doses on lenght of the root (cm)



The results of the fresh and dry stem weight were shown that Figure 8 and 9. The highest weight was found in K0, K1 and K2 potassium doses and average fresh and dry weigh was obtained in 4.4 and 0.31 g/plant, respectively.

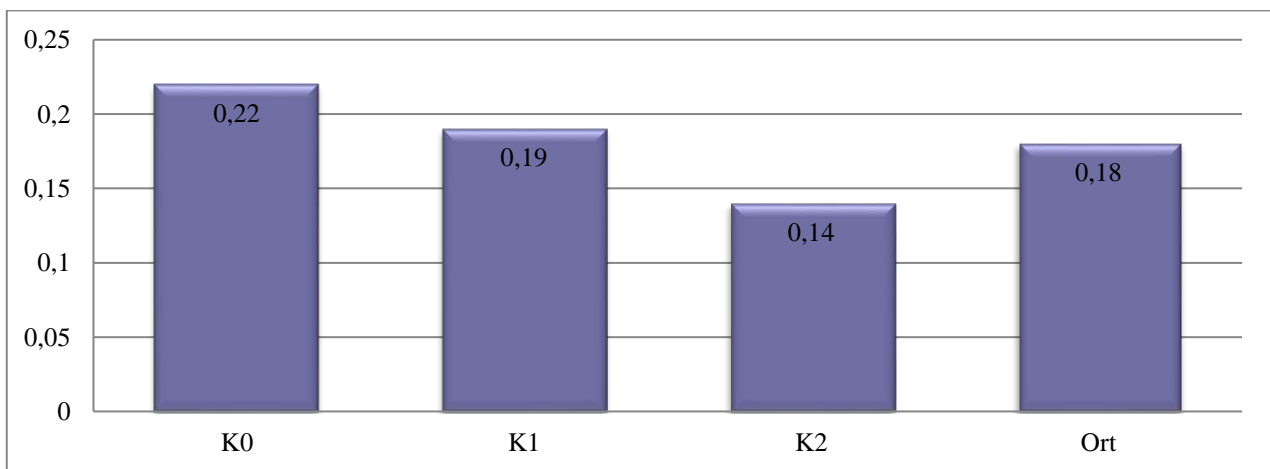


*Figure 8. Effects of different potassium doses on fresh stem weight (g/plant)*



*Figure 9. Effects of different potassium doses on dry stem weight (g/plant)*

When we look at the mean values of the varieties in fresh and dry root weight was changed between 0.14-0.22 g/plant and 0.023-0.036 g/plant, respectively. The lowest results was obtained in K2 being 0.25 g/plant but in dry root weight was found in K1 potassium doses being 0.023 g/plant (Figure 10, 11).



*Figure 10. Effects of different potassium doses on fresh root weight (g/plant).*

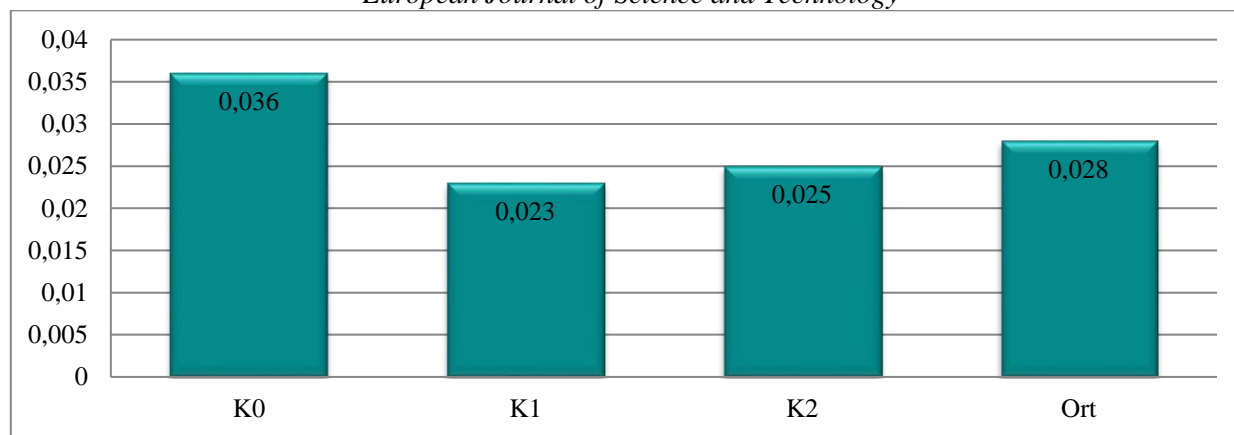


Figure 11. Effects of different potassium doses on dry root weight (g/plant).

To the author's knowledge, there is no previous study about number of the leaves, length of the root, fresh and dry stem weight as well as fresh and dry root weight at seedbed period of Aegean Region tobaccos.

#### 4. Conclusion

In consideration of data; as the amount of potassium applied increased, the amount of length of the seedling, stem diameter and length of the root increased as well. I believe that it will be appropriate to interpret the yield, yield components and quality parameters in the field conditions of these plants determined by seedling performance.

#### References

- Acikgoz, N., E. Ilker and A. Gokcol. 2004. Assessment of Biological Research on the Computer. ISBN: 973-483-607-8 Ege University Seed Technology Center, Publication No: 2 Bornova-Izmir, Turkey (in Turkish).
- Anonim, 2018. Tütün Raporu. Tütün Ekspertleri Derneği. İzmir.
- Ayan, A.K. and O. Caliskan. 2006. Seedling quality of flue-cured tobaccos as affected by different types of peat. Communications in Biometry and Crop science. Vol. 1, No. 1, pp. 56-62.
- Ekren, S. 2007. Investigation on the factors affecting the yield and quality of the Aegean Region tobaccos. Ege University Graduate School of Natural and Applied Science. PhD Thesis. Bornova-Izmir (in Turkish).
- Ekren, S., E. İlker, 2017. The Influence of Clipping Application on Yield and Some Yield Parameters of Aegean Types Tobaccos. Turkish Journal of Field Crops 22(2), 218-226.
- Gumus Guler, S. 2008. Economic analysis of oriental tobacco in Turkey. Bulgarian Journal of Agricultural Science, 14 (No 5), 470-475.
- Hou-Long, J., I. Na-Jia, X. An-ding, Y. Chao, W. Hong-Feng, C. Hai-Tao, S. Pei-Xiang, D. Wei. 2014. Development of closed-type transplant production system and discussion of its application mode for flue-cure tobacco. Australian Journal of Crop Science. AJCS 8(11): 1566-1570. ISSN:1835-2707.
- Kabranavo, R., Z. Arsov, Z. Dimov and M. Spirkovska. 2014. Impact of float tray technology on quality of oriental tobacco seedling. 49th Croatian&9th International symposium on Agriculture. P.362-366. Dubrovnik/Croatia.
- Sekin, S., Peksuslu, A., Kucukozden, R. (2002) Macro and micro element contents of Izmir type tobaccos related with quality. The Second Balkan Scientific Conference Quality and Efficiency of the Tobacco Production, Treatment and Processing. Proceedings. Plovdiv/Bulgaria, 47-55.
- Turi, I., D. Hamel, H. Mesi, R. Sanz, V. Radulovi. 2004. Phase out of methyl bromide in production of tobacco seedlings in Croatia. Tütün/Tobacco. Vol:54, No:11-12, 252-256. ISSN: 0494-3244.
- Wolf, F.A., 1962. *Aromatic or Oriental Tobaccos*. Duke University Press. Durham. N.C.



## Chromatographic Applications in Medicine

Özlem Çoşkun<sup>1\*</sup>, Özlem Öztöpuş<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Çanakkale Onsekiz Mart University, Faculty of Medicine, Department of Biophysics, Çanakkale, Turkey (ORCID:0000-0002-0741-5001- ORCID: 0000-0002-1373-6311)

(First received 25 April 2019 and in final form 28 October 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.558010)

**ATIF/REFERENCE:** Çoşkun, Ö. & Öztöpuş, Ö. (2019). Chromatographic Applications in Medicine. *European Journal of Science and Technology*, (17), 522-529.

### Öz

Kromatografi son yıllarda medikal alanda bir ilacın/metabolitlerinin tanımlanması ve nicelleştirilmesinde tercih edilen analitik yöntemlerden biridir. İlaçları özellikleri ve etkileşimlerine göre ayırmak amacıyla çeşitli kromatografik teknikler geliştirilmiştir. Bu tekniklerden özellikle yüksek performanslı afinite kromatografisi (HPAC), hücre membran kromatografisi (CMC), karma modlu kromatografi (MMC), yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) klinik öncesi ve klinik çalışmalarda ilaçların biyoanalizi için farmasötik amaçlı kullanılmaktadır. Kromatografinin hızlı ve hassas analitik yöntemler geliştirilmesindeki başarısı, ilaçların AR-GE'deki farmakokinetik özelliklerinin araştırılmasında da üstün özgünlük ve duyarlılık sağlar. Sonuç olarak günümüzde kromatografi tekniği; ilaç-protein etkileşimi, klinik/farmasötik numunelerin incelenmesinde ve kişiye özgü tedavide umut verici bir teknik olarak tercih edilmektedir.

**Anahtar sözcükler:** Kromatografi, biyofarmasötik, ilaç etkileşimi

### Abstract

Chromatography has been preferred in the medical field as one of the most important analytical methods used for the identification and quantification of a drug and its metabolites in recent years. Various chromatographic techniques have been developed to differentiate drugs according to their characteristics and interaction types. Among these techniques, particularly High Performance Affinity Chromatography (HPAC), Cell Membrane Chromatography (CMC), Mixed Mode Chromatography (MMC), High Performance Liquid Chromatography (HPLC) are used for pharmaceutical purposes for bioanalysis of drugs in preclinical and clinical studies. The success of Chromatography in the development of rapid and precise analytical methods provides superior specificity and sensitivity in the research of pharmacokinetic properties of drugs in R&D. In personalized medicine, it is important how the dosage and effect of drugs varies from person to person. In recent years, chromatography has been preferred as a promising technique in the analysis of drug-protein binding and in the examination of clinical or pharmaceutical samples.

**Keywords:** Chromatography, biopharmaceutics, drug interaction

\* Corresponding Author: Çanakkale Onsekiz Mart University, Faculty of Medicine, Department of Biophysics Çanakkale, Turkey. ORCID:0000-0002-0741-5001, ozlemcd38@hotmail.com

## 1. Introduction

Chromatographic methods have become widespread practices for clinical analysis both in routine and research laboratories. Clinical analysis refers to testing of biological materials intended to determine the reliability and efficacy, diagnostic, and therapeutic processes. Chromatographic techniques play an irreplaceable role, particularly in drug, toxicology and biomarker analysis (Van den et al., 2012). In these analysis, such biological materials as whole blood, serum, plasma, urine, feces and tissues and macromolecules, such as lipids and proteins are used (Denoroy et al., 2013; Kortz et al., 2011).

Generally, clinical analysis can be categorized as therapeutic drug monitoring, biomarkers' analysis for laboratory-based diagnostic purposes, and clinical toxicology. Therapeutic drug monitoring (TDM) is commonly used to determine the difference between the minimum active concentrations and minimum toxic concentrations of a drug. Biomarkers are biological compounds that can be operationalized as an indicator of normal biological processes, pathogenic processes, and pharmacological responses. They include low molecular weight metabolites, vitamins, hormones, lipids, peptides, and proteins. They are important specifically for early disease diagnosis, assessment of the disease process, monitoring of drug response, and therapeutic intervention. Clinical toxicology analysis focuses on various toxic agents associated with diseases or clinical symptoms after short-term or long-term exposure (Vlčková et al., 2018).

Clinical analysis requires fast, highly efficient and reliable methods. Low efficiency and sensitivity, and nonspecific interactions in the analyzes used in routine clinical applications cause the reliability of these techniques to decrease. As a result, more specific analyzes should be preferred today than traditional methods. Chromatographic techniques have become more popular in both routine and research laboratories in recent years. The purpose of this review is to provide an overview of the state of the existing chromatographic methods used in clinical analysis. This review summarizes the chromatographic trends in clinical analysis, discusses their advantages and disadvantages, and lastly offers a novel perspective to future research. For this purpose, the chromatography techniques described in the review have been preferred because of their excellent properties in terms of sensitivity, selectivity, time and efficiency compared to the routine analysis and other chromatography techniques.

## 2. Some Chromatographic Methods In Clinical Analysis

A variety of chromatographic techniques have been developed to differentiate the properties and interactions of drugs in clinical analysis. In this section, sensitivity, selectivity, analysis time and yield characteristics of chromatographic methods used in clinical analysis are discussed in detail.

### 2.1. High Performance Liquid Chromatography (HPLC) Applications

HPLC-MS has been employed as a selective alternative technique use in clinical laboratories, especially in endocrinology and toxicology, and to overcome problems related to the analysis of TDM, steroid hormones, and vitamins, new-born screening, and immunoassay. HPLC-MS's basic features are selectiveness, precision, efficiency, and analysis time (Kalogria et al., 2013).

HPLC-MS is a reliable and effective quantitative method in drug and biomarker analysis for the purpose of disease diagnosis and assessment. For the development of the method, the employment of a universal LC method is preferred. Reversed-phase mode is the most commonly used for the analysis of a mobile phase consisting of acetonitrile/methanol and formic/acetic acid, drug, and biomarker especially in the C18 column and gradient mode. In drug and biomarker analysis, the C18 column and the mobile phase consisting of acetonitrile/methanol and formic/acetic acid in the gradient mode are most commonly used ones (Fig 1) (Yin et al., 2017).

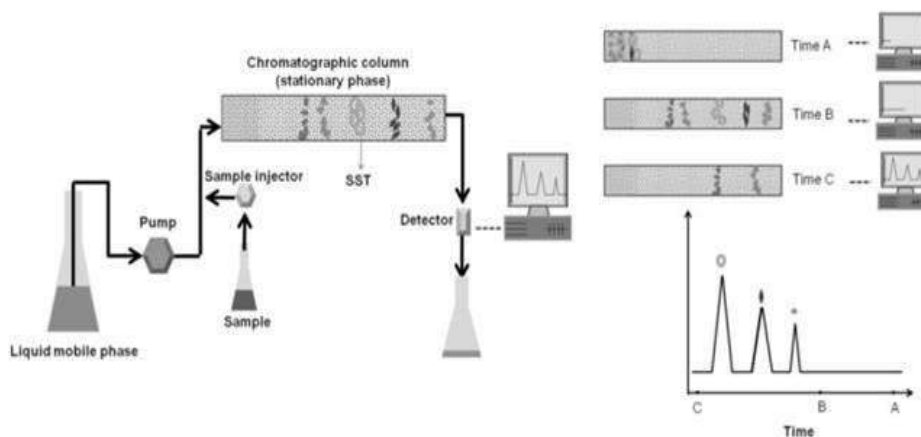


Fig 1. LC-MS's schematized presentation (Yang et al., 2015)

## 2.2. Gas Chromatography (GC) Applications

Due to its high precision and widespread applicability in the analysis of various physicochemical agents, GC is commonly used as an alternative to GC-MS/MS, HPLC-MS/MS techniques in forensic toxicology, doping analysis, and routine bioanalytical laboratories (Santos and Schug, 2017; Xie and Yuan, 2017). Most of the GC practices use a liquid film coated on a column wall and open tubular capillary columns (Fig 2). GC is also used for metabolomics and lipidomics in targeted analyses of a wide variety of volatile compounds. Such endogenous compounds as fatty acids, steroids, and other hormones, anesthetics, analgesics, antidepressants, antipsychotics and antiepileptics, and such narcotics as cocaine, cannabinoids, amphetamines, MeOH and breath volatile compounds are the compounds that are typically identified in clinical GC routines. Clinical analysis determines biomarkers of tuberculosis, cancer, neurodegenerative diseases, and diseases associated with metabolic disorders. This analysis is performed in a period of ten minutes (Vlčková et al., 2018)

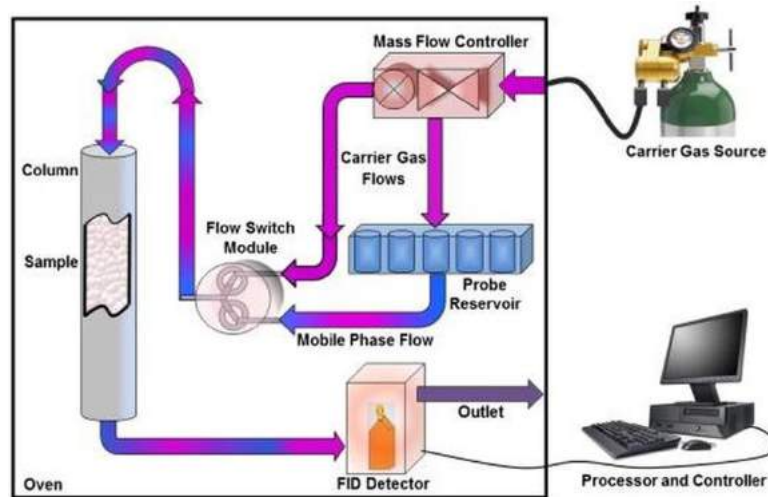


Fig 2. Schematized representation of Gas Chromatography (Mohammadi-Jam and Waters, 2014)

## 2.3. Supercritical Fluid Chromatography (SFC) Applications

Open tubular columns are used in supercritical fluid chromatography as in GC. The advantages of this technique over GC and HPLC are as follows:

- (1) Lower viscosity and higher distribution allowing for faster and more efficient separation,
- (2) Environment-friendly CO<sub>2</sub>-based mobile phase mixed with organic solvents,
- (3) Broad-spectrum stationary phase.

Thanks to these features, supercritical fluid chromatography allows for a faster analysis with advanced resolution. Moreover, this technique is complementary to GC and HPLC commonly used in clinical analyses. Therefore, SFC has the potential to become a method drawing substantial attention in clinical analyses (Fig 3). Furthermore, it is widely used in drug discovery and development (Tarafder, 2016; Silva and Collins, 2014).



Fig 3. Supercritical chromatography in pharmaceutical analysis (Desfontaine et al., 2015)



SFC is carried out in clinical analyses to monitor the drugs with serious side effects including citalopram in plasma and ketamine metabolites in urine and antiepileptics and chemotherapeutics (Hegstad, 2017; Fassauer et al., 2017). While lipophilic compounds, carotenoids and fat-soluble vitamins E and D can be generally identified by HPLC in a period of ten minutes, it can be performed by SFC in a few minutes (Fig 4).

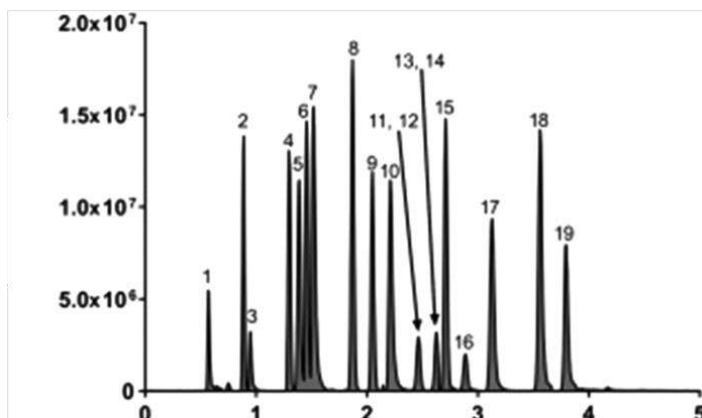


Fig 4. 4-min analysis of 19 endogenous steroids by SFC (Vlčková et al., 2018)

Thanks to the physicochemical characteristic of the mobile phase, SFC is effectively used to screen endogenous hormones, and especially steroid, and to quantify neurotransmitters. The structural separation of similar steroids is presented in Fig 4. These results can be used for the diagnosis of many diseases (Quanson et al., 2016; Du Toit et al., 2017).

#### 2.4. High Performance Affinity Chromatography Affinity Chromatography (HPAC)

Biochemical and chemical agents in the body, antibody’s binding with antigen, hormones’ interaction with their receptors and drugs’ binding with their biological targets or their carrier agents are important in many clinical processes (Hage, 2017). High Performance Affinity Chromatography has become a highly preferred technique to research and characterize interactions between proteins and drugs (Li et al., 2016).

Affinity chromatography is a method relying on specific and reversible absorption of a targeted biomolecule by ligands immobilized on an insoluble support material (matrix) and incorporating binding ends that are complementary to the target molecule (Fig 5). Elution of the target molecule from the medium can be achieved either by the use of a racing ligand or with a change in the pH, ionic power or polarity of the medium (mobile phase). The mobile phase used during the elution of a compound from the column should not denature the compound and should not cause any change in its specific activity and function (Ghose and Kumpalume, 2003; Wilchek and Chaiken, 2000; Ostrove, 1990).

Affinity chromatography relies on the reversible interaction between a protein and a specific ligand immobilized in a chromatographic matrix. Affinity chromatography is a type of liquid chromatography that uses a biologically related agent as a stationary phase to purify or analyze specific sample components. High performance affinity chromatography allows for the use of HPLC supports and equipment for an affinity-based separation or analysis (Hage, 2006).

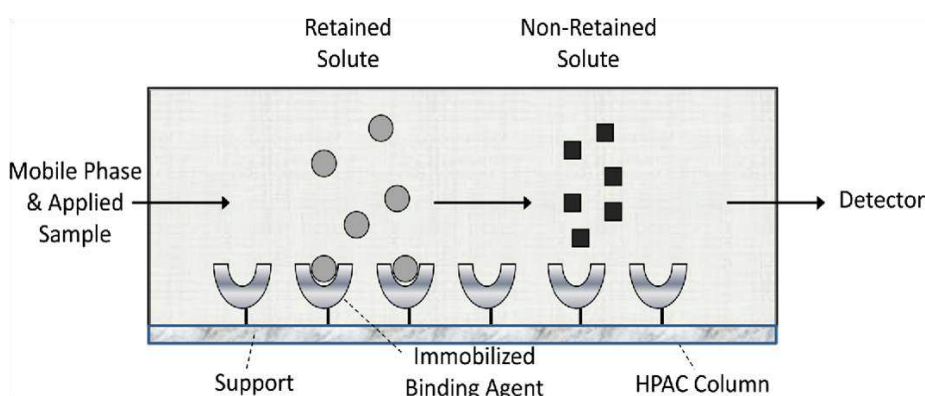


Fig 5. Basic components of High Performance Affinity Chromatography (Hage et al., 2011)

Among the fields of application are high-performance drug screening, studies on modified protein, studies on personalized medicine and drug-drug interaction. HPAC has some characteristics that make it interesting for drug-protein binding studies. For example, This method has a good sensitivity and is relatively high and easy to apply to the routine (Hage et al., 2009). Besides, it can be used together with various types of detectors and it was shown by many studies that it achieves a good correlation with reference

methods when used to examine the interaction between serum proteins and drugs. Another useful feature of HPAC is its capability to reuse the same protein or binding agent for a multitude of experiments (Hage et al., 2011).

There are various ways a disease can affect the drug-protein interactions in blood. The most important of these ways is the change in the concentration of a protein or a binding agent. For example, the changes in the concentration of other binding agents, e.g. HSA, in blood and in the compounds of these agents, e.g. lipoproteins,. It is known that the level of AGP ( $\alpha$ 1-acid glycoprotein) may increase from 2 folds to 5 folds during the acute phase of some diseases (Natarajan et al., 2010; Hochepped et al., 2002).

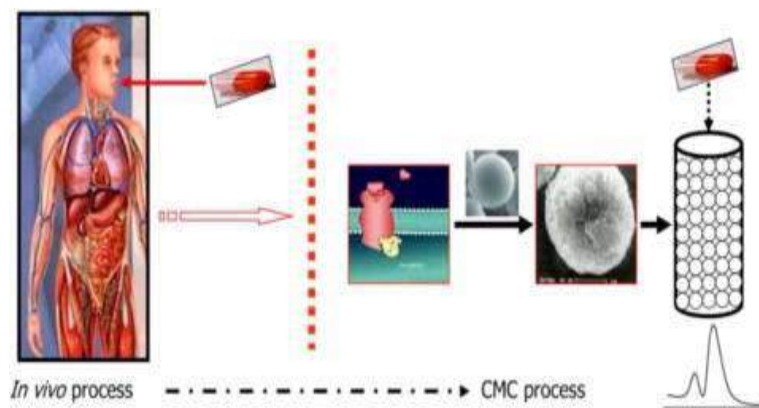


Fig 6. Recent advances in Cell Membrane Chromatography (Hou et al., 2014)

## 2.5. Cell Membrane Chromatography (CMC) Applications

Cell Membrane Chromatography has recently become a practical method to screen active components and to investigate the interaction between drugs and receptors (Fig 6). The interaction between drug and cell membrane receptors is analyzed *in vitro*. CMC offers several advantages, such as fast and high precision and is suitable for the screening of active components in mixed systems (Hou et al., 2009).

CMC is a biomimetic affinity chromatography technique using cell membrane receptor as a stationary phase. The stationary phase of cell membrane is developed through the fusion of cell membrane and the adsorption of silicon hydroxyl (Si-OH) groups on the silica gel surface. Silica gel can be used as the ideal carrier of cell membrane (He et al., 2007).

Paraformaldehyde can be cross-linked with the amino group on the surface of protein and its membrane protein facilitates sustaining the spatial configuration. Besides, paraformaldehyde as a protein cross-linking agent may lead to damages to the protein structure and decrease the activity incapable of ensuring the reliability of screening results. Thus, there is need for a novel method to improve cell membrane's ability to attach to the silica gel without damaging the cell membrane (Xiao-Yu et al., 2018).

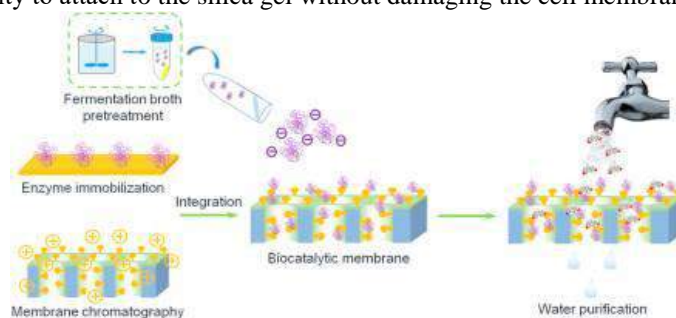


Fig 7. Cell Membrane Chromatography analysis (Fan et al., 2017)

One of CMC's disadvantages is that columns have a short life. The failure of membrane proteins adsorbing on silica gels to maintain their fast movements or activities affects the stability and replicability of the screening results. When using cell membrane columns, receptors on the surface of a cell membrane may gradually lose their original biological activity. Yet a membrane adsorbed on the surface of a mobile phase can be easily separated when the mobile phase is rinsed. These two reasons cause the column of cell membrane to be short-lived (Fig 7). Generally they fail after a constant use of 48-72 hours. CMC's high-performance drug receptor is promising for interaction characterization. CMC as a drug analysis method with separation and activity screening properties is expected to improve rapidly in terms of integration and automation (Ding et al., 2014).

## 2.6. Mixed-mode chromatography (MMC) Applications

It incorporates superior features for the separation of compounds not binding well nor solving well by typical reversed phase LC methods particularly for polar and charged molecules. Because a single MMC column has multiple-binding feature, it contributes an additional dimension to the separation method with the adjustment of MMC's mobile phase conditions. Additionally, MMC is an

effective purification method to separate the complex compound matrices or to examine trace amount of analytes precisely (Zhang and Liu, 2016). Mixed-mode columns are advantageous because they have multiple retention processes. The most common of the columns exhibiting both reversed-phase and ion exchange (anionic, cationic or zwitterionic) behavior is the mixed-mode column (Zhang et al., 2010).

MMC allows adjusting the mobile phase/eluant conditions to regulate the interactions of certain analytes. As a new-generation mixed-mode stationary phase, it offers a better separation (Fig 8).

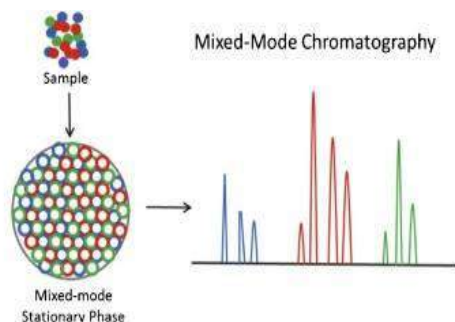


Fig 8. Mixed-mode Chromatography (Zhang and Liu, 2016)

MMC is a chromatographic method incorporating multiple interaction mechanisms of solutes in the stationary phase. MMC is used as a method alternate and complementary to traditional reversed-phase (RP) chromatography, ion exchange (IEX) chromatography, hydrophilic interaction liquid chromatography (HILIC), and normal phase (NP) chromatography (Fig 9). In the past years, MMC has been attracting considerable scholarly attention in both biopharmaceutics and industry (Lämmerhofer et al., 2008). Peptide and protein analysis and purification play a remarkable role in the characterization of buildup of antibodies and heterogeneity (Zhang et al., 2010).

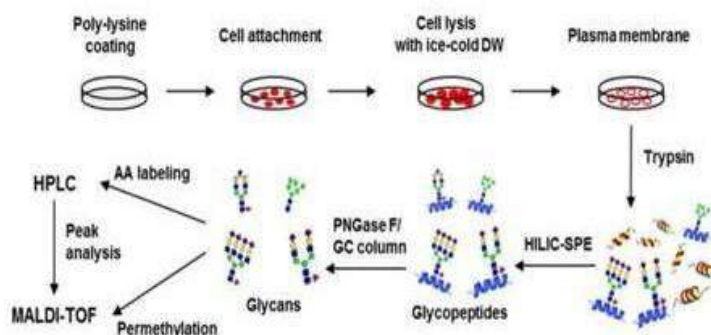


Fig 9. Isolation of plasma membrane protein by MMC method (Mun et al., 2013)

### 3. Results and Advices

This review highlights the significant characteristics of some chromatographic techniques employed in clinical practices in consideration of their precision, selectivity, analysis time, and performance.

Clinical analysis must be offered at a high speed with a high level of efficiency and requires routine application. Spectrophotometric, electrochemical and immunological tests are commonly used in the analysis of various compounds for their high efficiency and universality. In addition, chromatographic techniques also play an indispensable role in the analysis of clinical analysis, particularly in drug screening, toxicology and biomarker analysis. The combination of the novel techniques with the available ones must result in more advanced practices related to affinity chromatography and HPAC in the characterization of biological interactions for the purpose of clinical and pharmaceutical analyses.

There are many advantages that HPAC has contributed to drug-protein interactions and personalized medicine. These advantages include this technique's speed and precision, ability to work with various formats and sensing modes, easiness of automation, and ability to work with a small amount of sample and binding agent. GC is used in more than 30% of clinical chromatographic practices in toxicology. CMC is a simple, specific and time-saving technique to examine drug-receptor interactions, screening active compounds from complex mixtures, and quality of a product. In recent years, MMC has become more popular in the separation of high-polarity molecules by integrating with conventional reversed-phase and other chromatographic methods.

In conclusion, there is a considerable need in the clinical field for well-devised universal chromatographic methods to simplify the processes and methods to analyze a great many biological compounds.

## References

- Denoroy, L., Zimmer, L., Renaud, B., & Parrot, S. (2013). Ultra high performance liquid chromatography as a tool for the discovery and the analysis of biomarkers of diseases: a review. *Journal of Chromatography B*, 927, 37-53.
- Desfontaine, V., Guillarme, D., Francotte, E., & Nováková, L. (2015). Supercritical fluid chromatography in pharmaceutical analysis. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 113, 56-71.
- Ding, X., Chen, X., Cao, Y., Jia, D., Wang, D., Zhu, Z., & Chai, Y. (2014). Quality improvements of cell membrane chromatographic column. *Journal of Chromatography A*, 1359, 330-335.
- Du Toit, T., Bloem, L. M., Quanson, J. L., Ehlers, R., Serafin, A. M., & Swart, A. C. (2017). Profiling adrenal 11 $\beta$ -hydroxyandrostenedione metabolites in prostate cancer cells, tissue and plasma: UPC2-MS/MS quantification of 11 $\beta$ -hydroxytestosterone, 11 keto-testosterone and 11 keto-dihydrotestosterone. *The Journal of steroid biochemistry and molecular biology*, 166, 54-67.
- Fan, J., Luo, J., & Wan, Y. (2017). Aquatic micro-pollutants removal with a biocatalytic membrane prepared by metal chelating affinity membrane chromatography. *Chemical Engineering Journal*, 327, 1011-1020.
- Fassauer, G. M., Hofstetter, R., Hasan, M., Oswald, S., Modeß, C., Siegmund, W., & Link, A. (2017). Ketamine metabolites with antidepressant effects: fast, economical, and eco-friendly enantioselective separation based on supercritical-fluid chromatography (SFC) and single quadrupole MS detection. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 146, 410-419.
- Felletti, S., Ismail, O. H., De Luca, C., Costa, V., Gasparrini, F., Pasti, L., & Catani, M. (2019). Recent achievements and future challenges in supercritical fluid chromatography for the enantioselective separation of chiral pharmaceuticals. *Chromatographia*, 82(1), 65-75.
- Ghose, S., & Kumpalume, P. (2003). Chromatography: the high-resolution technique for protein separation. In *Isolation and Purification of Proteins* (pp. 44-69). CRC Press.
- Hage, D. S. (2006). *Handbook of affinity chromatography*. 2nd edition. Volume: 92.
- Hage, D. S., Anguizola, J. A., Jackson, A. J., Matsuda, R., Papastavros, E., Pfaunmiller, E., & Zheng, X. (2011). Chromatographic analysis of drug interactions in the serum proteome. *Analytical Methods*, 3(7), 1449-1460.
- Hage, D. S., Jackson, A., Sobansky, M. R., Schiel, J. E., Yoo, M. J., & Joseph, K. S. (2009). Characterization of drug-protein interactions in blood using high-performance affinity chromatography. *Journal of separation science*, 32(5-6), 835-853.
- He, L. C., Wang, S. C., Yang, G. D., Zhang, Y. M., Wang, C. H., Yuan, B. X., & Hou, X. F. (2007). *Progress in cell membrane chromatography*. *Drug Discov Ther*, 1(2), 104-107.
- Higgins V, Nieuwesteeg M, Adeli K. (2016). *Reference Intervals: Theory and Practice*. Clarke W, editor. *Contemporary Practice in Clinical Chemistry*, 3rd ed: AACC Press, 21-36.
- Hocephied, T., Wullaert, A., Berger, F. G., Baumann, H., Brouckaert, P., Steidler, L., & Libert, C. (2002). Overexpression of  $\alpha$ 1-acid glycoprotein in transgenic mice leads to sensitisation to acute colitis. *Gut*, 51(3), 398-404.
- Hou, X., Zhou, M., Jiang, Q., Wang, S., & He, L. (2009). A vascular smooth muscle/cell membrane chromatography-offline-gas chromatography/mass spectrometry method for recognition, separation and identification of active components from traditional Chinese medicines. *Journal of Chromatography A*, 1216(42), 7081-7087.
- Hou, X., Wang, S., Zhang, T., Ma, J., Zhang, J., Zhang, Y., ... & He, L. (2014). Recent advances in cell membrane chromatography for traditional Chinese medicines analysis. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 101, 141-150.
- Kalogria, E., Pistos, C., & Panderi, I. (2013). Hydrophilic interaction liquid chromatography/positive ion electrospray ionization mass spectrometry method for the quantification of alprazolam and  $\alpha$ -hydroxy-alprazolam in human plasma. *Journal of Chromatography B*, 942, 158-164.
- Kortz, L., Helmschrodt, C., & Ceglarek, U. (2011). Fast liquid chromatography combined with mass spectrometry for the analysis of metabolites and proteins in human body fluids. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 399(8), 2635-2644.
- Lämmerhofer, M., Richter, M., Wu, J., Nogueira, R., Bicker, W., & Lindner, W. (2008). Mixed-mode ion-exchangers and their comparative chromatographic characterization in reversed-phase and hydrophilic interaction chromatography elution modes. *Journal of separation science*, 31(14), 2572-2588.
- Li, Z., Beeram, S. R., Bi, C., Suresh, D., Zheng, X., & Hage, D. S. (2016). High-performance affinity chromatography: applications in drug-protein binding studies and personalized medicine. In *Advances in protein chemistry and structural biology* (Vol. 102, pp. 1-39). Academic Press.
- Matsuda, R., Anguizola, J., Joseph, K. S., & Hage, D. S. (2011). High-performance affinity chromatography and the analysis of drug interactions with modified proteins: binding of gliclazide with glycosylated human serum albumin. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 401(9), 2811.
- Mohammadi-Jam, S., & Waters, K. E. (2014). Inverse gas chromatography applications: A review. *Advances in colloid and interface science*, 212, 21-44.
- Mun, J. Y., Lee, K. J., Seo, H., Sung, M. S., Cho, Y. S., Lee, S. G., ... & Oh, D. B. (2013). Efficient adhesion-based plasma membrane isolation for cell surface N-glycan analysis. *Analytical chemistry*, 85(15), 7462-7470.
- Natarajan, P., Ray, K. K., & Cannon, C. P. (2010). High-density lipoprotein and coronary heart disease: current and future therapies. *Journal of the American College of Cardiology*, 55(13), 1283-1299.
- Ostrove, S. (1990). *Affinity chromatography: General methods*. In *Methods in Enzymology* (Vol. 182, pp. 357-371). Academic Press.



- Quanson, J. L., Stander, M. A., Pretorius, E., Jenkinson, C., Taylor, A. E., & Storbeck, K. H. (2016). High-throughput analysis of 19 endogenous androgenic steroids by ultra-performance convergence chromatography tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography B*, 1031, 131-138.
- Santos, I. C., & Schug, K. A. (2017). Recent advances and applications of gas chromatography vacuum ultraviolet spectroscopy. *Journal of separation science*, 40(1), 138-151.
- Schiel, J. E., & Hage, D. S. (2009). Kinetic studies of biological interactions by affinity chromatography. *Journal of separation science*, 32(10), 1507-1522.
- Silva, C. G. A. D., & Collins, C. H. (2014). Super/subcritical fluid chromatography with packed columns: state of the art and applications. *Química Nova*, 37(6), 1047-1057.
- Tarafder, A. (2016). Metamorphosis of supercritical fluid chromatography to SFC: an overview. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 81, 3-10.
- Van den Ouweland, J. M., & Kema, I. P. (2012). The role of liquid chromatography–tandem mass spectrometry in the clinical laboratory. *Journal of chromatography B*, 883, 18-32.
- Vlčková, H. K., Pilařová, V., Svobodová, P., Plíšek, J., Švec, F., & Nováková, L. (2018). Current state of bioanalytical chromatography in clinical analysis. *Analyst*, 143(6), 1305-1325.
- Wei, F., Hu, Q., Huang, J., Han, S., & Wang, S. (2017). Screening active compounds from *Corydalis yanhusuo* by combining high expression VEGF receptor HEK293 cell membrane chromatography with HPLC-ESI-IT-TOF-MS<sup>n</sup> method. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 136, 134-139.
- Wilchek, M., & Chaiken, I. (2000). An overview of affinity chromatography. In *Affinity Chromatography* (pp. 1-6). Humana Press.
- Xiao-Yu, W., Xiao-Fei, C., Yan-Qiu, G., Yan, C., Yong-Fang, Y., Zhan-Ying, H., & Yi-Feng, C. (2018). Progress of Cell Membrane Chromatography and Its Application in Screening Active Ingredients of Traditional Chinese Medicine. *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, 46(11), 1695-1702.
- Xie, S. M., & Yuan, L. M. (2017). Recent progress of chiral stationary phases for separation of enantiomers in gas chromatography. *Journal of separation science*, 40(1), 124-137.
- Yin, L., Shi, M., Wang, T., Zhang, M., Zhao, X., Zhang, Y., & Gu, J. (2017). A Parallel-Column LC–MS/MS Method for High-Throughput Analysis of Eight Antiepileptic Drugs in Clinical Therapeutic Drug Monitoring. *Chromatographia*, 80(1), 137-143.
- Zhang, K., & Liu, X. (2016). Mixed-mode chromatography in pharmaceutical and biopharmaceutical applications. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 128, 73-88.
- Zhang, K., Dai, L., & Chetwyn, N. P. (2010). Simultaneous determination of positive and negative pharmaceutical counterions using mixed-mode chromatography coupled with charged aerosol detector. *Journal of Chromatography A*, 1217(37), 5776-5784.
- Zhu, M. Z., Wu, W., Jiao, L. L., Yang, P. F., & Guo, M. Q. (2015). Analysis of flavonoids in lotus (*Nelumbo nucifera*) leaves and their antioxidant activity using macroporous resin chromatography coupled with LC-MS/MS and antioxidant biochemical assays. *Molecules*, 20(6), 10553-10565.





# Effect of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Additive on Nuclear Radiation Shielding Behaviors of Lithium Aluminum Silicate (LAS) Glass System

Gulfem Susoy<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Istanbul University, Faculty of Science, Department of Physics, 34134, Istanbul, Turkey (ORCID: 0000-0002-3760-1999)

(First received 1 October 2019 and in final form 29 October 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.638450)

**ATIF/REFERENCE:** Susoy, G. (2019). Effect of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Additive on Nuclear Radiation Shielding Behaviors of Lithium Aluminum Silicate (LAS) Glass System. *European Journal of Science and Technology*, (17), 530-538.

## Abstract

In this work, shielding parameters of LAS (lithium-aluminum-silicate) Li<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> glass samples have been reported with the help of the WinXCom code, a Windows version of the XCOM database. The effect of increasing P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> concentration on the shielding parameters has been examined in the used Li<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> glass samples. The shielding effectuality of the materials for gamma-ray can be interpreted with the help of several different attenuation parameters which plays key role in understanding the shielding capabilities of the material. The mass attenuation coefficient, defined by  $\mu_m = \mu/\rho$ , is the most basic coefficient used to calculate the shielding parameters. These parameters are the mean free path (MFP), half value layer (HVL), tenth value layer (TVL), effective electron number (N<sub>e</sub>) and equivalent atomic number (Z<sub>eq</sub>). The exposure buildup factor (EBF) and GP fitting parameters are also calculated by the method of logarithmic interpolation using Z<sub>eq</sub> of a Li<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> glass system. The EBF values for Li<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> glass samples show an inverse relation with N<sub>e</sub>. Further, P1 (least N<sub>e</sub>) offers maximum values of EBF and P6 (highest N<sub>e</sub>) offers minimum EBF values. The change in different shielding parameters for the selected glasses was interpreted by considering three interactions with the substance (Photoelectric effect, Compton scattering and pair production). The obtained results show that the  $\mu_m$  strongly depends on the photon energy, chemical composition and density of the shielding materials. It is clear to see that P6 glass sample having the highest P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> concentration is the most effective glass sample among the other glasses of Li<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> system in nuclear radiation shielding ability.

**Keywords:** P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; gamma shielding; EBF;

## P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Katkılı Lityum Alüminyum Silikat (LAS) Cam Sistemlerinin Nükleer Radyasyon Zırhlamasına Etkisi

### Öz

Bu çalışmada, XCOM veritabanının Windows sürümü olan WinXCom programı kullanılarak LAS (lityum-alüminyum-silikat) Li<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> cam örneklerinin zırhlama parametreleri hesaplanmıştır. Kullanılan cam örneklerinde P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> konsantrasyonunun artan yüzde oranının zırhlama parametreleri üzerindeki değişim etkisi incelenmiştir. Gama ışını için malzemelerin koruyucu etkisi, malzemelerin zırhlama etkilerini anlamada kilit rol oynayan birkaç farklı zırhlama parametresi yardımıyla yorumlanabilir.  $\mu_m = \mu/\rho$  ile tanımlanan kütle zayıflama katsayısı, zırhlama parametrelerini hesaplamak için kullanılan en temel katsayıdır. Bu parametreler ortalama serbest yol (MFP), yarı değer katmanı (HVL), onuncu değer katmanı (TVL), etkili elektron numarası (N<sub>e</sub>) ve eşdeğer atom numarasıdır (Z<sub>eq</sub>). Ayrıca maruz kalma faktörü (EBF) ve GP fitleme parametreleri de Li<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> cam örnekleri için logaritmik enterpolasyon yöntemi ve Z<sub>eq</sub> değerinin kullanılması ile hesaplanmıştır. Li<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> cam örnekleri için EBF değerleri, N<sub>e</sub> ile ters bir ilişki göstermektedir. Ayrıca, P1 cam örneği için EBF değeri maksimum değeri alırken (en az N<sub>e</sub>), P6 cam örneği için minimum EBF değeri (en yüksek N<sub>e</sub>) hesaplanır. Seçilen camlar için farklı zırhlama parametrelerinde gözlenen değişiklik, madde ile üç etkileşim göz önünde bulundurularak yorumlanmaktadır bu etkileşimler fotoelektrik etki, Compton saçılması ve çift oluşumdur. Elde edilen sonuçlar, kütle zayıflatma katsayısı ( $\mu_m$ ) değerinin fotonun enerjisine, cam örneklerinin kimyasal bileşimine ve zırhlama malzemelerinin yoğunluğuna

\* Corresponding Author: Istanbul University, Faculty of Science, Department of Physics, 34134, Istanbul, Turkey, ORCID: 0000-0002-3760-1999, [glfmsusoy972@gmail.com](mailto:glfmsusoy972@gmail.com)

bağlı olduğunu göstermektedir. En yüksek P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> konsantrasyonuna sahip olan P6 cam numunesinin diğer Li<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> cam örnekleri arasından nükleer radyasyon koruma kabiliyeti bakımından en etkili cam numunesi olduğunu açıkça görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; gamma zırlama; EBF.

## 1. Introduction

Ionizing radiations such as gamma-ray and x-ray are widely used in different fields such as medical, industrial and nuclear medicine [1]. The main idea in radiation protection is to know tolerable doses and to prevent radiation workers and the surrounding population from taking doses above it. The obstacle to be placed between the radiation source and the person will minimize the dose taken. The armor chosen for the different types of radiation must be different. The higher the material density and atomic number, the more protective it is against radiation [2]. Radiation protection refers to the principle of ALARA, known as **As Low As Reasonably Achievable** which means, it is necessary to administer a minimum dose which is reasonable. ALARA principle is applied according to three basic parameters; time (as little time as possible), distance (as far as possible) and shielding [3,4]. The calculation of radiation shielding depends on the type of radiation source, the location and energy dependence of the radiation, the mechanisms of radiation interaction with matter, and the determination of secondary radiation sources released as a result of the interaction of radiation [5]. Many properties of this material need to be studied to select the material to be used to reduce the effect of photon radiation. For this purpose, the linear attenuation coefficients ( $\mu$ ) of the substances are examined as a measure of the absorption of a photon by the substance. The linear attenuation coefficient gives the possibility of a photon passing any interaction per unit length; it is the sum of the possibilities of photoelectric attenuation ( $\tau$ ), Compton scattering ( $\sigma$ ) and double formation ( $\kappa$ ). Today, the majority of these materials are made of lead and lead-containing composites; however, lead has some disadvantages. First of all, these materials are heavy and this may cause some negligence in their use. On the other hand, the toxic effect of lead used in these materials and the fact that the lead has a brittle structure shortens the service life of the protective material [6]. In order to overcome this disadvantageous situation, the demand for glass materials as alternative materials is increasing [7-11]. Glass-ceramic materials have the same chemical composition as glass, but have a different structure from them. That is, typically 95-98% by volume is crystalline, while a small percentage is glassy. Glass ceramic materials are typically characterized by certain properties. Some of those; high power, low-even sometimes negative thermal expansion coefficient, high impact resistance, good resistance to thermal shock, and a range of optical properties. LAS (Li<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>), a combination of lithium aluminum silicate, is one of the most valuable and widely used glass-ceramic systems. This glass system has a wide range of useful features such as low thermal expansion coefficient (TEC), excellent mechanical properties and high thermal shock resistance [12-14]. It is an important step to add different nucleating agents (such as oxides) to reduce the crystallization temperature of glass-ceramic materials and limit the tendency to convert. The nucleating agents used repeatedly are ZrO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub> oxides [15-16]. In addition, the effect of the use of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> oxides, known as high moisture absorbing and small crystalline glass makers such as boric oxide and silicon dioxide, has been particularly investigated in LAS glass ceramics. Also, the glass-ceramic sample contains a small amount of MgO to reduce the melting point and a low concentration of lithium to reduce the cost of the material. Among the various types of oxides, phosphorus pentoxide (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) known as highly hygroscopic and microcrystalline glass network former like boric oxide and silicon dioxide. On the other hand, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> can be doped with rare earth and metals to manufacture special glasses such as medical implants for insoluble acid-resistance as well as for radiation shielding [17]. In this study, it is aimed to observe the nuclear radiation shielding properties of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> additive on LAS (lithium-aluminum-silicate) glasses. In order to interpret these properties, several gamma-ray shielding parameters have been identified with exposure buildup factor (EBF) for five LAS glass samples with different P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> doped [18]. In this study, the WinXCom program was used to determine the mass attenuation coefficients of glass samples [19]. Other important gamma ray shielding parameters were calculated by using mass attenuation coefficients obtained by the WinXCom program. These parameters are, mean free path (MFP), half value layer (HVL), tenth value layer (TVL), effective electron number (N<sub>e</sub>) and exposure buildup factor (EBF), respectively. Table 1 shows the density and molar percentages of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> doped Lithium Aluminum Silicate (LAS) glass samples. The results from recent studies may provide a better understanding of the effect of the P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> additive on nuclear radiation shielding, and may also bring a different perspective to research on P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> oxide.

Table 1. Chemical Properties of the Investigated Glasses

Sample Code	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Li <sub>2</sub> O	MgO	ZrO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Density (g/cm <sup>3</sup> )
P2	59	25.5	4	4	2	2	2	1.5	2.516
P3	59	24.5	4	4	2	2	3	1.5	2.519
P4	59	23.5	4	4	2	2	4	1.5	2.523
P5	59	22.5	4	4	2	2	5	1.5	2.528
P6	59	21.5	4	4	2	2	6	1.5	2.539

## 2. Material and Method

### 2.1. WinXCom Program

Theoretically calculated mass attenuation coefficient values are given as tables in the study conducted by Hubbell and Seltzer [20]. A suitable alternative method for manual calculations is to generate the attenuation data required by the computer. The tables in the above-mentioned study are used for these calculations. With this in mind, Berger and Hubbell [21] improved a computer program called XCOM for the calculation of attenuation coefficients and cross-sections for any element, mixture or compound in the energy region of 1 keV-100 GeV. There have been a number of updates to this program since then, and now a web version is also available. Lately, this well-known and widely used program has been adapted by Gerward et al. into the Windows infrastructure, and the Windows version is called WinXCom [22,25].

### 2.2. Calculation method of shielding parameters

The  $\mu_m = \mu/\rho$  (mass attenuation coefficient) coefficient is a non-density-dependent coefficient and is calculated according to the law of Lambert-Beer for the attenuating materials examined.

$$\mu_m x = \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) \quad (1)$$

where  $I_0, I$  and  $x$  are the incident photon intensity, attenuated photon intensity and thickness of the sample, respectively. On the other hand, the  $\mu_m$  (cm<sup>2</sup>/g) values of compounds and mixture of different elements are theoretically formulated with the help of the mixture rule [26] defined by equation 2.

$$(\mu_m) = \sum_i w_i (\mu_m)_i \quad (2)$$

where  $w_i$  and are  $(\mu_m)_i$  the weight fraction and mass attenuation coefficient of the  $i$ th element. The  $\mu_m$  values of the sample glasses might be calculated for specific energy values with the help of the WinXCom program.

The effective atomic number ( $Z_{eff}$ ) of the sample glasses can be calculated by taking the ratio of the total atomic and electronic cross-sections.

$$Z_{eff} = \frac{\sigma_{t,a}}{\sigma_{t,el}} = \frac{\frac{1}{N_A} \sum_i f_i A_i \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_i}{\frac{1}{N_A} \sum_i \frac{f_i A_i}{Z_i} \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_i} \quad (3)$$

In the equation 3, the  $N_A$  is Avogadro constant,  $f_i$  is the fractional abundance of  $i$ th element and  $A_i$  is the atomic weight of the  $i$ th element. The effective number of electrons is calculated by the following formula.

$$N_e = \frac{(\mu/\rho)}{\sigma_{t,el}} = \frac{N_A Z_{eff}}{\langle A \rangle} ; \langle A \rangle = \frac{M}{\sum_i n_i} \quad (4)$$

### 2.3. Essential theoretical parameters for gamma-ray shielding

To describe the radiation shielding efficiency for glass samples the essential theoretical parameters like HVL, TVL and MFP are interpreted for gamma-ray shielding. The HVL, TVL and MFP can be calculated by the mass attenuation coefficient ( $\mu_m$ ) presented in Eq. 5-6-7;

$$HVL = \frac{0.693}{\mu_m \rho} \quad (5)$$

$$TVL = \frac{\ln 10}{\mu_m \rho} \quad (6)$$

$$MFP = \frac{1}{\mu_m \rho} \quad (7)$$

### 2.4. The exposure buildup factor

While a single element has the atomic number  $Z$ , the compound materials have the equivalent atomic number ( $Z_{eq}$ ) and describe the properties of glass systems. The  $Z_{eq}$  was used for calculating the exposure buildup factors (EBF) and the G-P fitting parameters.

$$Z_{eq} = \frac{Z_1(\log R_2 - \log R) + Z_2(\log R - \log R_1)}{\log R_2 - \log R_1} \quad (8)$$

where the  $R_1$  and  $R_2$  are the ratio of  $(\mu_m)_{compton}/(\mu_m)_{total}$  and  $Z_1$  and  $Z_2$  refer the atomic numbers of the glass samples. G.P fitting parameters (b, c, a,  $X_k$ , d) for the glass samples were achieved by interpolation of equation 8 and detailed calculation procedures can be found from many studies [27-30]. Detailed studies on shielding parameter calculations are available [31-34].

### 3. Results and Discussion

Initially, theoretical calculations was used to compare the  $\mu_m$  measurement results of the samples. For the calculation, the WinXCom code in the energy region of 0.015 MeV-15 MeV were used (can be seen in **Table 2**). The variation of  $\mu_m$  values according to glass samples can be seen in **Figure 1**. The figure shows a quick decrease in the MAC values of the sample glasses to 0.03 MeV. The reason for this is that at low energies, the photon interacts with the substance in relation to  $Z^4/E^{3.5}$ . Then, as the photon energy value increases, a slower decrease is observed [35-37]. This is because Compton scattering and pair production processes are predominant in medium and high photon energies depending on  $Z$  and  $Z^2$ . Finally, the glass sample P6 possesses the highest  $\mu_m$  values among the studied glasses.

Table 1. Mass Attenuation Coefficients ( $\mu_m$ ) for the Glass Samples Estimated by WinXCom Program

E (MeV)	MAC ( $\mu_m$ ) (WinXCom)				
	P2	P3	P4	P5	P6
0,015	6,5163	6,5299	6,5436	6,5573	6,5710
0,02	3,7895	3,7955	3,8014	3,8074	3,8133
0,03	1,3003	1,3020	1,3038	1,3056	1,3074
0,04	0,8697	0,8704	0,8712	0,8720	0,8727
0,05	0,5382	0,5386	0,5390	0,5394	0,5398
0,06	0,3837	0,3839	0,3841	0,3844	0,3846
0,08	0,2517	0,2518	0,2519	0,2520	0,2521
0,10	0,1986	0,1987	0,1987	0,1988	0,1989
0,15	0,1487	0,1487	0,1488	0,1488	0,1488
0,20	0,1285	0,1285	0,1285	0,1286	0,1286
0,30	0,1077	0,1077	0,1077	0,1077	0,1078
0,40	0,0954	0,0954	0,0954	0,0954	0,0954
0,50	0,0867	0,0867	0,0867	0,0867	0,0867
0,60	0,0800	0,0800	0,0800	0,0800	0,0800
0,80	0,0701	0,0701	0,0701	0,0701	0,0701
1,00	0,0630	0,0630	0,0630	0,0630	0,0630
1,50	0,0513	0,0513	0,0513	0,0513	0,0513
2,00	0,0442	0,0442	0,0442	0,0442	0,0442
3,00	0,0360	0,0360	0,0360	0,0360	0,0360
4,00	0,0314	0,0314	0,0314	0,0314	0,0314
5,00	0,0285	0,0285	0,0285	0,0285	0,0285
6,00	0,0266	0,0266	0,0266	0,0266	0,0266
8,00	0,0241	0,0241	0,0241	0,0241	0,0241
10,00	0,0227	0,0227	0,0227	0,0227	0,0227
15,00	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212

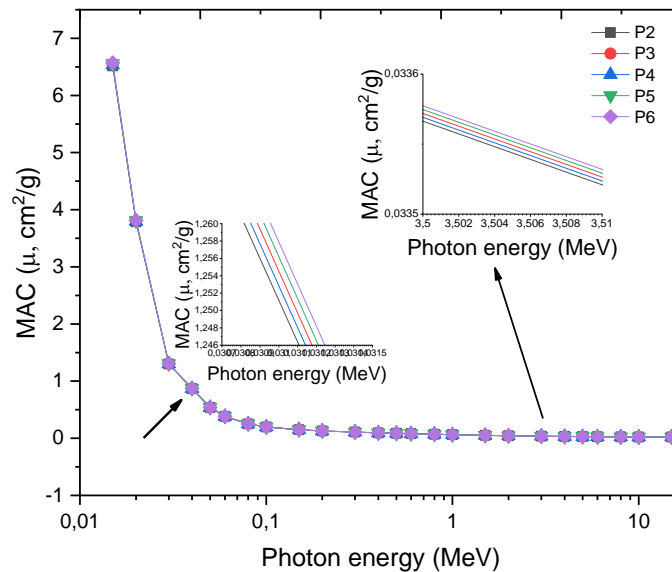


Figure 1. Mass attenuation coefficients ( $\mu_m$ ) of the sample glasses with photon energy from 0.015 to 15 MeV.

There are three main parameters used to specify the material thickness in selected photon energy, as well as to forecast the ability of the glass samples to be studied, such as MFP, HVL and TVL. Low values indicate superior protection ability. As can be seen from **Figures 2 and 3** the P6 glass sample having the highest energy and maximum P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> composition was found to reduce MFP, HVL and TVL values of Li<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> glass system and improve the gamma attenuation capacity.

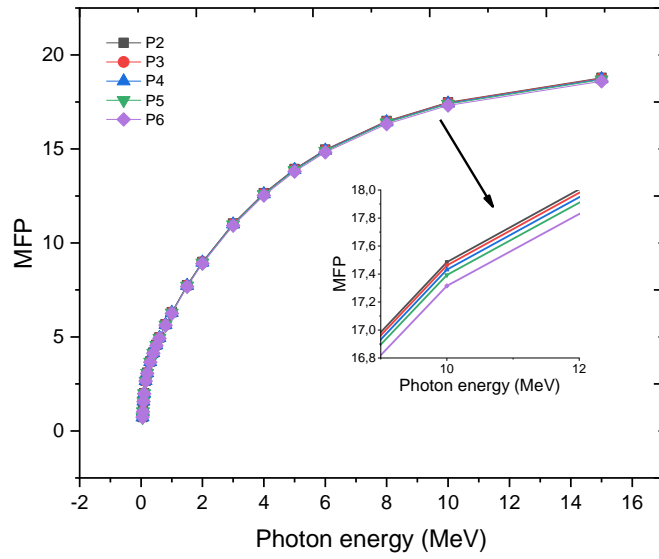
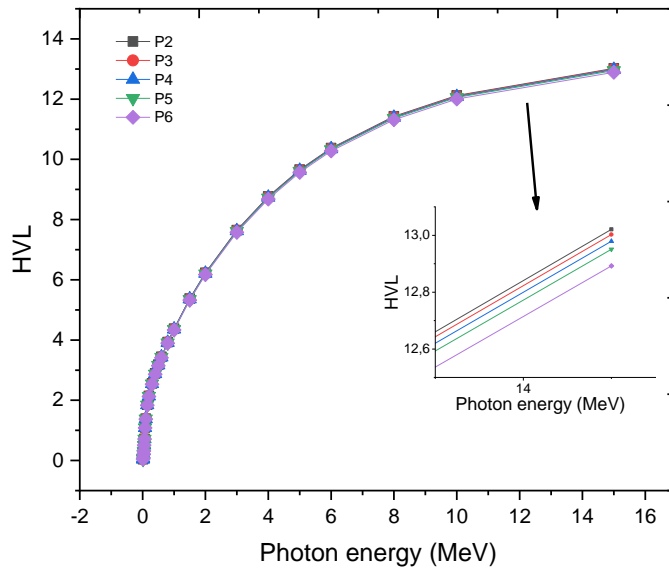
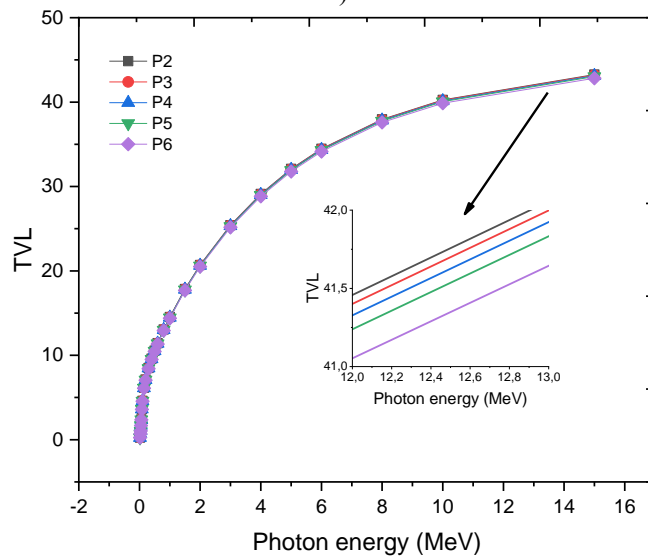


Figure 2. Mean free path (MFP) of investigated glass samples.



a)



b)

Figure 3. a) Half (HVL) and b) tenth value layer (TVL) of investigated glass samples.



The variation of MFP values for P2, P3, P4, P5, P6 glass samples are in the region of 0.06099 - 18.78489, 0.06079 - 18.75868, 0.06057 - 18.72511, 0.06033- 18.68425, 0.05994 - 18.5995 respectively.

**Figure 4** shows the  $N_e$  values of  $\text{Li}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  glass samples that vary with photon energy and elemental composition of glass samples. As can be clearly seen from the figure, the  $N_e$  values are highest in the low energy zone and a sudden drop is observed after 0.1 MeV.  $N_e$  values slightly increase after 1.022 MeV energy value which is dominated by the pair production process. In addition,  $N_e$  values increase with the increase of  $\text{P}_2\text{O}_5$  in  $\text{Li}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  glass system according to **Figure 4** the sample P2 has the maximum  $N_e$  value among the samples and these values vary between 4.8702-3.2496.

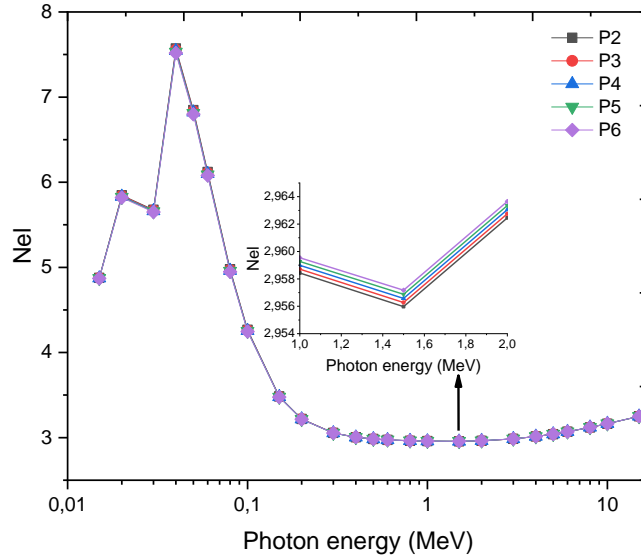


Figure 4. Effective electron density ( $N_{eI}$ ) of the glass samples with photon energy

Variation of equivalent atom numbers  $Z_{eq}$  of glass samples for photon energies region from 0.015 MeV to 15 MeV can be seen in **Figure 5**. With the highest  $Z_{eq}$  value, P6 yields the minimum EBF values. The **Figure 6** represents the EBF variations of P2-P3-P4-P5-P6 glass samples at different photon energies using penetration depths 1, 2, 5, 10 mfp. As in the other graphs examined in this study, EBF graphs show the effect of partial photon interactions. When all glass samples are taken into consideration, EBF values take the smallest values at low energies. On the other hand, it is beheld that these values are higher in the middle and high energy regions. As can be seen from the **Figure 6**, the increase and decrease in EBF factors are due to different processes depending on photon energy. However, the heavy elements in the elemental composition of glasses cause an increase in the cross-section values of pair production and lead to the formation of more secondary photons. Therefore, especially in high penetration depths, EBF values are increased.

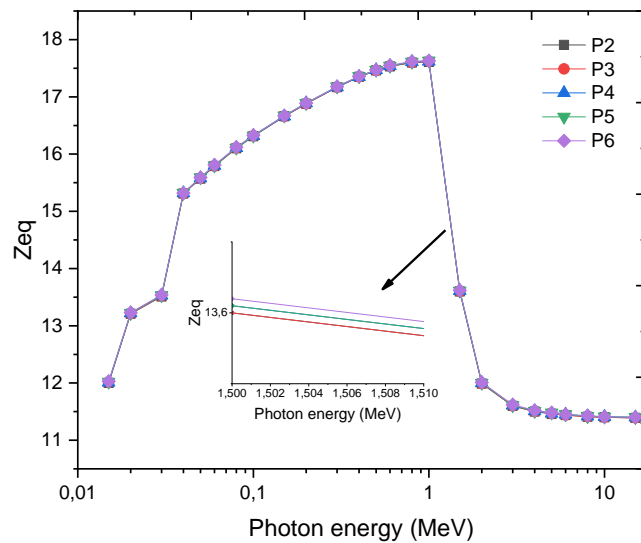


Figure 5. Evaluation of equivalent atomic numbers with incident photon energy range of 0.015-15 MeV

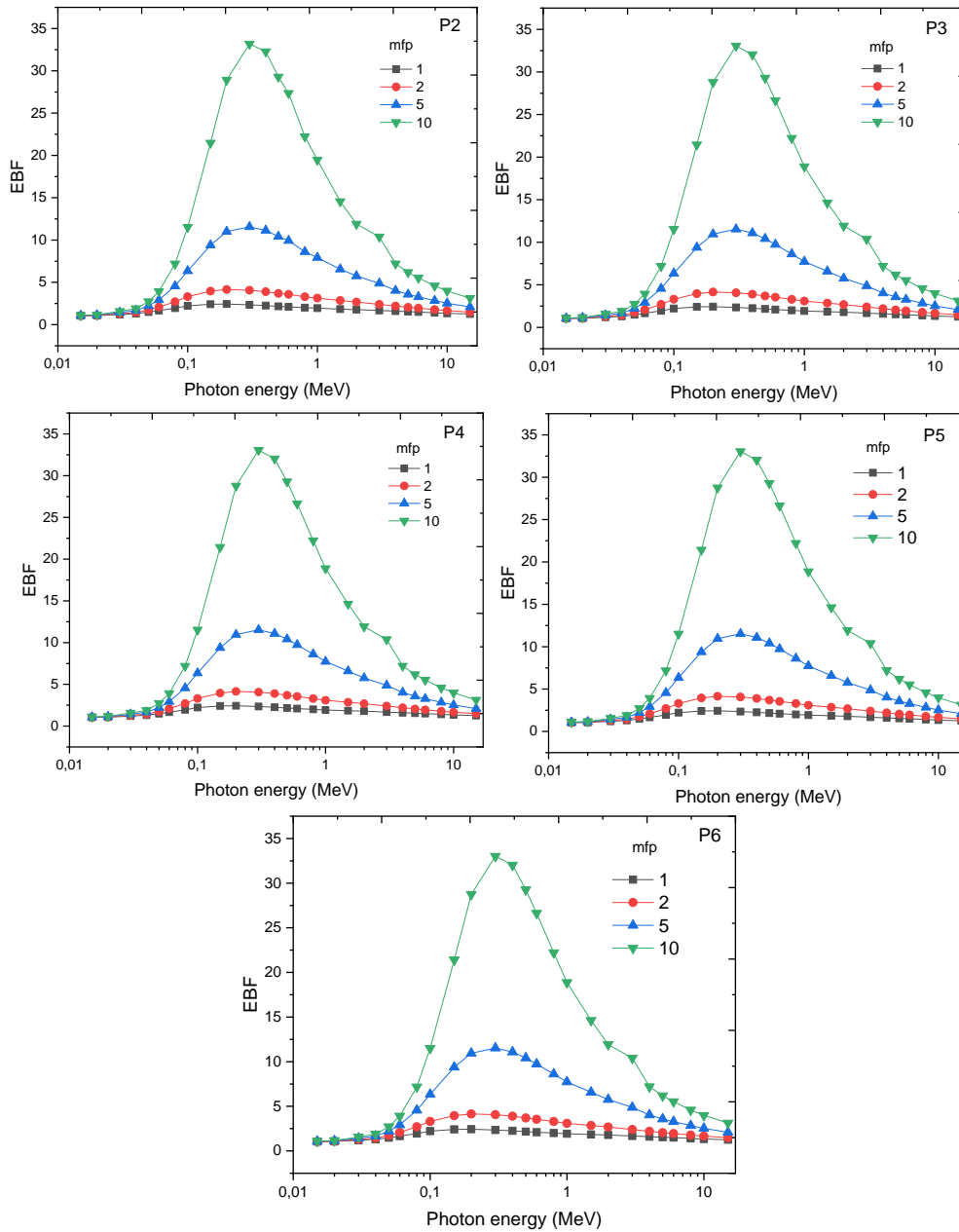


Figure 6. The exposure buildup factors in the energy region 0.015–15 MeV up to 10 mfp for the sample glasses

#### 4. Conclusions

In this work, shielding parameters of LAS (lithium-aluminum-silicate)  $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  glass system reported with the help of the WinXCom program in the photon energy region of 0.015-15 MeV. We examine the impact of  $\text{P}_2\text{O}_5$  addition on shielding parameters. The shielding effectuality of the materials for gamma ray can be interpreted with the help of several different parameters. These are the mass attenuation coefficient ( $\mu_m$ ), mean free path (MFP), half value layer (HVL), tenth value layer (TVL), effective electron number ( $N_e$ ), equivalent atomic number ( $Z_{eq}$ ) and exposure buildup factor (EBF). According to the results, it can be understood clearly that the P6 glass sample having the highest  $\text{P}_2\text{O}_5$  addition is the most effective glass sample among the other glasses of  $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  system in nuclear radiation protection. In addition, when  $\text{P}_2\text{O}_5$  contribution increases in  $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  glass system, the density of glass samples also increases. This suggests that the P6 glass sample in their present work is useful shielding material for protection from gamma rays.

## References

1. Abuzaid, MM., Elshami, W., Steelman, C., (2018). Measurements of Radiation Exposure of Radiography Students During Their Clinical Training Using Thermoluminescent Dosimetry. *Radiat Prot Dosimetry*, 179(3): 1–4.
2. Trattner, S., Pearson, G. D. N., Chin, C., Cody, D. D., Gupta, R., Hess, C. P., et al. (2014). Standardization and Optimization of Computed Tomography Protocols to Achieve Low-Dose. *J Am Coll Radiol [Internet]*, 11(3): 271–8. Available from: <http://www.imagewisely.org>
3. ICRP. International Commission on Radiological Protection. (2009) Annual Report.
4. Commission E. (2019). Technical Recommendations for Monitoring Individuals Occupationally Exposed to. *Radiat Prot No* 160:128.
5. Kavaz, E., Tekin, H. O., Agar, O., Altunsoy, E. E., Kilicoglu, O., Kamislioglu, M., et al. (2019). The Mass Stopping Power / Projected Range and Nuclear Shielding Behaviors of Barium Bismuth Borate Glasses and Influence of Cerium Oxide. *Ceramias International* 45:15348-15357. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.05.028>
6. Ngaile, J. E., Uiso, C. B. S., Msaki, P., Kazema, R., (2008). Use of Lead Shields for Radiation Protection of Superficial Organs in Patients Undergoing Head CT Examinations. *Radiat Prot Dosimetry*, 130(4):490–8.
7. Tekin, H.O., Kavaz, E., Papachristodoulou, A., Kamislioglu, M., Agar, O., Altunsoy Guclu, E. E., Kilicoglu, O., Sayyed, M.I. Characterization of SiO<sub>2</sub>–PbO–CdO–Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Glasses for Comprehensive Nuclear Shielding Performance: Alpha, Proton, Gamma, Neutron Radiation. *Ceramics International*. Available Online: 18 June 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.06.168>
8. Kilicoglu, O., Altunsoy, E.E., Agar, O., Kamislioglu, M., Sayyed, M.I., Tekin, H.O., Tarhan, N., (2019). Synergistic Effect of La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> on Mass Stopping Power (MSP)/Projected Range (PR) and Nuclear Radiation Shielding Abilities of Silicate Glasses. *Results in Physics* 14: 102424. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2019.102424>
9. Sayyed, M.I., Ali, A.A. Tekin, H.O., Rammah.Y.S., (2019), Investigation of Gamma-Ray Shielding Properties of Bismuth Borotellurite Glasses Using MCNPX Code and XCOM Program. *Applied Physics A* 125: 445. <https://doi.org/10.1007/s00339-019-2739-x>
10. Tekin, H.O., Kavaz, E., Altunsoy, E.E., Kamislioglu, M., Kilicoglu, O., Agar, O., Sayyed, M.I., Tarhan, N., (2019), Characterization of a Broad Range Gamma-Ray and Neutron Shielding Properties of MgO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub>–B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Na<sub>2</sub>O–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub> Glass Systems. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 518: 92-102. <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2019.05.012>
11. Kavaz, E., Tekin, H.O., Yildiz Yorgun, N., Ozdemir, O. F., Sayyed, M.I., (2019), Structural and Nuclear Radiation Shielding Properties of Bauxite Ore Doped Lithium Borate Glasses: Experimental and Monte Carlo Study. *Radiation Physics and Chemistry* 162: 187–193. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2019.05.019>
12. Rawlings, R.D., Wu, J.P., Boccaccini, A.R., (2006). Glass-ceramics: Their Production From Wastes-a Review, *J. Mater. Sci.* 41: 733–761.
13. James, P.F., (1995). Glass-ceramic: New Compositions and Uses, *J. Non-Cryst. Solids* 181:1–15.
14. Tick, P.A., Borrelli, N.F., Reaney, I.M., (2000), Relationship Between Structure and Transparency in Glass-Ceramic Materials, *Opt. Mater.* 15(1):81–91.
15. Gua, X., Yang, H., Cao, M., (2005). Nucleation and Crystallization Behaviour of LAS System Glass-Ceramics Containing Little and no Fluorine, *J. Non-Cryst. Solids* 351:2133–2137.
16. Hoche, T., et al., (2011). ZrTiO<sub>4</sub> Crystallization in Nanosized Liquid-Liquid Phase-Separation Droplets in Glass – A Quantitative XANES Study, 13: p. 2550.
17. Sayyed, M.I., Khattari, Z.Y., Kumar, A., Al-Jundi, J., Dong, M.G., AlZaatreh, M.Y., (2018), Radiation Shielding Parameters of BaO–Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>–P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Glass System Using MCNP5 Code and XCOM Software. *Materials Research Express*, 5(11). <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aadcd7>
18. Jiaqi, W., Changwei, L., Jianlei, L., Lei, H., Hua, G., Cui, L., Taoyong, L., Anxian, L., (2019), The Effect of Complex Nucleating Agent on the Crystallization, Phase Formation and Performances in Lithium Aluminum Silicate (LAS) Glasses. *Journal of Non-Crystalline Solids* 521:119486. <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2019.119486>
19. Gerward, L., Guilbert, N., Jensen, K.B. and Levring, H. (2004). WinXCom—A Program for Calculating X-Ray Attenuation Coefficients. *Radiation Physics and Chemistry*, 71: 653-654. <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2004.04.040>.
20. Hubbell, J. H., Seltzer, S. M., (1995). Tables of X-ray Mass Attenuation Coefficients and Mass Energy Absorption Coefficients 1 keV to 20MeV for Elements Z = 1-92 and 48 Additional Substances of dosimetric Interest, NISTIR. 5632.
21. Berger, M. J, Hubbell, J. H., (1987/1999). XCOM: Photon Cross Sections Database, Web Version 1.2, Available at <http://physics.nist.gov/xcom>. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, USA. (Originally published as NBSIR 87-3597 “XCOM: Photon Cross Sections on a Personal Computer”)
22. Gerward, L., Guilbert, N., Jensen, K. B., (2001). Levring H. X-ray Absorption in Matter. Reengineering XCOM. *Radiat Phys Chem.*, 60: 23-24.
23. Sayyed, M.I., Tekin, H.O., Kilicoglu, O., Agar, O., Zaid, M. H. M., (2018), Shielding Features of Concrete Types Containing Sepiolite Mineral: Comprehensive Study on Experimental, XCOM and MCNPX results. *Results Phys.* 11: 40.
24. ANSI/ANS 6.4.3, (1991). Gamma-ray Attenuation Coefficient and Buildup Factors for Engineering Materials. American Nuclear Society.
25. Kaur, S. A., Singh, P.S., Singh, T., (2016), Scope of Pb-Sn Binary Alloys as Gamma Rays Shielding Material, *Prog. Nucl. Energy*. doi:10.1016/j.pnucene.2016.08.022.
26. Sayyed, M. I., Qashou, S. I., Khattari, Z.Y., (2017). Radiation Shielding Competence of Newly Developed TeO<sub>2</sub>-WO<sub>3</sub>glasses, *J. Alloys Compd.* doi:10.1016/j.jallcom.2016.11.160.
27. Ekinci, N., Kavaz, E., Aygün, B., Perişanoğlu, U., (2019), Gamma Ray Shielding Capabilities of Rhenium-Based Superalloys,

- Radiat. Eff. Defects Solids.0150:1–17. doi:10.1080/10420150.2019.1596110.
28. Issa, S. A. M., Tekin, H. O., Erguzel, T. T., Susoy, G., (2019). The Effective Contribution of PbO on Nuclear Shielding Properties of  $x\text{PbO}-(100 - x)\text{P}_2\text{O}_5$  Glass System: A Broad Range Investigation. Applied Physics A, 125 (640): 2-16. <https://doi.org/10.1007/s00339-019-2941-x>
  29. Tekin, H. O., Kilicoglu, O., The influence of gallium (Ga) additive on nuclear radiation shielding effectiveness of Pd/Mn binary alloys. Journal of Alloys and Compounds. 815 (2020) 152484. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.152484>
  30. M.I. Sayyed, H.O. Tekin, O. Agar. Gamma photon and neutron attenuation properties of MgO–BaO–B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–TeO<sub>2</sub>–Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> glasses: The role of TeO<sub>2</sub>. Radiation Physics and Chemistry. 163 (2019) pp. 58-66. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2019.05.012>
  31. A. Aydogmuş Erik, E.Kavaz, Serkan Ilkbahar, U.Kara, C. E.Erik, H.O. Tekin. Structural and photon attenuation properties of different types of fiber post materials for dental radiology applications. Results in Physics 13 (2019) 102354. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2019.102354>
  32. Susoy, G., Effect of TeO<sub>2</sub> Additions on Nuclear Radiation Shielding Behavior of Li<sub>2</sub>O–B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>–TeO<sub>2</sub> Glass-System, Ceramics International. Available Online: 12 October 2019 <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.10.108>
  33. Cebecioglu, R., Yildirim, M., Akagunduz, D., Korkmaz, I., Tekin, H.O., Atasever-Arslan B., Catal T., (2019). Synergistic Effects of Quercetin and Selenium on Oxidative Stress in Endometrial Adenocarcinoma Cells. Bratisl Med J,120(6):449 – 455. doi:10.4149/BLL\_2019\_72
  34. Sayyed, M. I., Kumar, A., Tekin, H.O., Kaur, R., Singh, M., Agar, O., Khandaker, M. U., (2020), Evaluation of Gamma-ray and Neutron Shielding Features of Heavy Metals Doped Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-BaO-Na<sub>2</sub>O-MgO-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Glass Systems. Progress in Nuclear Energy 118 103118. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2019.103118>
  35. Issa, A. M. S., Tekin, H. O., (2019), The Multiple Characterization of Gamma, Neutron and Proton Shielding Performances of  $x\text{PbO}-(99-x)\text{B}_2\text{O}_3\text{-Sm}_2\text{O}_3$  Glass System. Ceramics International. 45 23561-23571. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.08.065>
  36. Tekin, H.O., Kassab, L. R. P., Issa, A. M. S., Bordon, C. D. S., Altunsoy Guclu, E. E., da Silva Mattos, G.R., Kilicoglu, O., (2019). Synthesis and Nuclear Radiation Shielding Characterization of Newly Developed Germanium Oxide and Bismuth Oxide Glasses. Ceramics International. 45: 24664–24674. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.08.204>
  37. Kilicoglu, O., Tekin, H.O., Bioactive Glasses and Direct Effect of Increased K<sub>2</sub>O Additive for Nuclear Shielding Performance: A Comparative Investigation. Ceramics International. Available Online: 11 September 2019, <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.09.095>



## Analysis of Contact Stresses in Spur Gears by Finite Element Method

Abdullah Akpolat<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Bölümü, Gaziantep, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5607-4349)

(İlk Geliş Tarihi 3 Ekim 2019 ve Kabul Tarihi 29 Ekim 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.629155)

**ATIF/REFERENCE:** Akpolat, A. (2019). Analysis of Contact Stresses in Spur Gears by Finite Element Method. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 539-545.

### Abstract

Gears are one of the most critical elements in power transmission because it plays a significant role in the industry. Spur gear is used to transmit power and rotary motion between parallel shafts. It is one of the simplest types of the gears. Surface failure of the gear tooth is a pitting when contact stress is exceeding the strength of the material to surface fatigue. This paper studies the contact stresses in the contact zone among the spur gear pairs by using finite element method under static conditions. Contact stress among the gear tooth pair's engagement determines the facility of the gear to transmit the power without harm. The contact stress in gears has played an important role for last years, but an extensive research is still required to understand the several parameters affecting this stress. Among these parameters, the most important factors affecting the surface contact stress are; number of teeth, module and face width. In the present study, the contact stress in spur gear is calculated by changing one of these parameters and keeping remaining constant to obtain the influence of each parameter on contact stress separately based on AGMA's equations and finite element method (FEM). A computer program is used to build up the gears by using homemade software and SolidWorks. The results of the FEM analyses from MSC Software (MARC) are presented. These results are compared with the theoretical results (AGMA's equations). The contact stress achieved by FEM is lower than the obtained results by AGMA's equations and the corresponding percent difference detected are about 8 %. The results of the contact stress analysis specify that increasing the values of geometrical parameters (number of teeth, module and face width) lead to decrease in the tooth contact stress.

**Keywords:** Spur Gears, Contact Stress, FEM, AGMA.

## Sonlu Eleman Yöntemi İle Düz Dişlilerde Temas Gerilmelerinin İncelenmesi

### Öz

Dişliler, endüstriyel uygulamalarda güç aktarmında kullanılan en kritik elemanlardan bir tanesidir. Düz dişliler ise paralel şaftlarda güç ve dönme hareketini aktarmada kullanılmaktadır. Düz dişliler en basit dişli çark çeşididir. Diş yüzeyindeki temas baskısı, malzemenin yüzey yorulmasına karşı dayanımını aştığı zaman dişli yüzeyinde karıncalanma şeklinde oluşmaktadır. Bu çalışmada statik şartlar altında, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak, düz dişli çarklarda diş yüzeyindeki temas gerilmeleri incelenmektedir. Dişli çiftinin çalışması esnasında oluşan yüzey temas gerilmesinin değeri, dişli çarkın istenen gücü dişli yüzeyine kalıcı bir zarar vermeden iletebilmesi için önemlidir. Dişlilerdeki temas gerilmeleri son yıllardaki çalışmalarda önemli bir yer tutmuştur, ancak yine de bu temas gerilmelerine etki eden çeşitli parametrelerin anlaşılması için kapsamlı araştırmalar gerekmektedir. Bu parametreler arasında yüzey temas gerilmesini en çok etkileyenler; diş sayısı, modül ve diş genişliği sayılabilir. Bu çalışmada, düz dişli çarkların yüzeyindeki temas gerilmeleri, farklı parametrelerin etkisini görmek için, bir tanesi değiştirilip, diğerleri sabit tutularak, AGMA denklemleri ve sonlu elemanlar metodu (SEM) kullanılarak hesaplanmıştır. Dişli geometrileri bir projede hazırlanan bilgisayar programıyla elde edilerek SolidWorks katı modellemeye aktarılıp 2B dişli yüzeyleri elde edilmiştir. Bu dişli yüzeyleri kullanarak MSC SimXpert yazılımıyla SEM analizi için ağ oluşturulmuş, SEM analizleri ise MSC Marc yazılımıyla yapılmıştır. SEM ile elde edilen yüzey temas gerilmeleri, teorik denklemlerle elde edilen sonuçlardan daha düşüktür ve fark yaklaşık yüzde 8'dir. Yüzey temas gerilmesi değerleri, geometrik parametrelerin (diş sayısı, modül, diş genişliği) artmasıyla azalmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Düz dişli çark, Yüzey temas gerilmesi, SEM, AGMA.

\* Sorumlu Yazar: Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Bölümü, Gaziantep, Türkiye, ORCID: 0000-0001-5607-4349, [akpolat@gantep.edu.tr](mailto:akpolat@gantep.edu.tr)



## 1. Introduction

Pitting failure of the gear tooth occurs due to misalignment, wrong viscosity oil selection, and contact stress exceeding the yield strength of the material. The material in the failure region gets removed, and a pit is formed. Consequently, higher impact load occurring from pitting may cause fracture of the already weakened tooth. The performance and life of the gear teeth are directly related to the strength of the teeth to withstand contact stresses. To increase the life, the gear analysis is crucial against the pitting failure.

Contact stress may cause pitting on the tooth; therefore, the contact stress must be within the allowable limits. In order to explain the behavior of the contact stress, the stress analysis needs to be carried out. Among the main influencing factors; the geometric profile of the tooth (number of teeth, modules and face width) can be discussed.

(Marimuthu and Muthuveerappan, 2016:1) included coupling between load sharing ratio (LSR), maximum fillet and contact stresses. Reduction of stress is obtained due to increase in teeth number. (Zhan, Fard and Jazar, 2015:2) developed quasi-static FEM model newly based on ANSYS Workbench for performing the analysis of time-varying load capacity. The results were compared with analytical calculations based on AGMA equations. Their results are acceptable and accurate according to AGMA results. (Farhan, Karuppanan and Patil, 2015:3) evaluated a contact stress of spur gear with and without friction by using the finite element method (FEM), Hertzian theory and AGMA standard. They showed an inversely proportional relation between contact stresses and face width (the contact stress decreased with the increase of face width). (Sankpal and Mirza, 2014:4) find out contact stresses by using the polariscope. By using methods of FEM and experiment, they evaluated and compared the results. Calculated values are close for both methods. They also found that selection of module size is an important factor before designing gear and contact stress decreases with increasing module.

(Patil, Karuppanan, Atanasovska and Wahab, 2014:5) also used different ways to analyze gears. Hence, a gear model was prepared to study the relationship between spur gear contact stress and friction. The analysis was performed by finite element method and complimented by two theoretical methods. (Karaveer, Mogrekar, and Joseph, 2013:6) presented the stress analysis of spur gear pairs to find contact stress on the gear teeth. The results were obtained in Finite Element Analysis (FEA) and compared with theoretical values (Hertzian equation). The spur gear was sketched and modeled in ANSYS Design Modeller and analysed in ANSYS. The results show that the difference between maximum contact stresses obtained from Hertz equation and Finite Element Analysis is acceptable and it is very low. (Hwang, Lee, J. H., Lee, D. H., Han, Lee, K. H. 2013:7) used 2D model to analyse the contact stress of a pair of mating gears in static FEM and compared these results with the AGMA standard, and they found the results obtained by FEM were more severe than that of the AGMA standard. (Patil, Karuppanan and Wahab, 2013:8) determined the contact pressure by using ANSYS software for a pair of mating spur gears by Finite Element Analysis (FEA). They showed that the FEA results for the contact stress gives the similar trend with the twin-disc test results, and the FEA model gives good results. Also, they observed the maximum variation between these two results was about 10.98 %. (Gupta, Choubey and Varde, 2012:9) presented a paper that provides the detailed study of contact stress established between different mating gears is mostly important for the gear design. They used Hertzian equations for calculating gear contact stresses. So for contact stress, they recognized and determined suitable models of contact elements, and measured contact stresses by using ANSYS and compared the results with Hertz theory. Conclusions suggest that to decrease contact stresses, the module must be increased in a pair of spur gears. (Shinde, Nikam and Mulla, 2010:10) also recommended that the stress distribution evaluation applying the FE method is good and is comparable with theoretical values. (Tsfahunegn, Rosa and Gorla, 2010:11) investigated the influence of the shape of profile modifications on contact stress through nonlinear finite element approach.

## 2. Methodology

### 2.1 FEA of Gears

In this paper, in order to study the influence of number of teeth, module and face width on contact stresses of spur gear pairs, different gears are modelled. Spur gear pairs with different number of teeth (20, 40, 60, 100 and 120), modules (2, 3, 4, 6 and 10 mm) and face width (20, 30, 40, 50 and 75 mm) are selected. Specifications of these five gear sets are represented in Tables 1, 2 and 3.

**Table 1.** Spur Gear Specifications (Case1)

Gear Properties	Case 1				
	20	40	60	100	120
Teeth Number	20	40	60	100	120
Module (mm)	2				
Face Width (mm)	20				
Pressure Angle (°)	20				
Gear Ratio	1				

**Table 2.** Spur Gear Specifications (Case2)

Gear Properties	Case 2				
Teeth Number	20				
Module (mm)	2	3	4	6	10
Face Width (mm)	20				
Pressure Angle (°)	20				
Gear Ratio	1				

**Table 3.** Spur Gear Specifications (Case3)

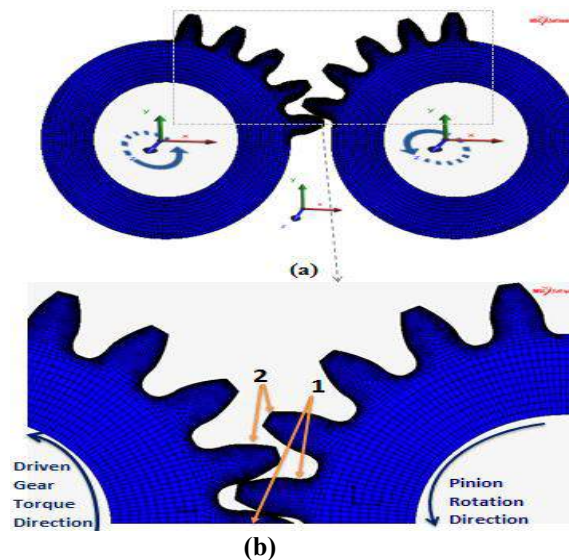
Gear Properties	Case 3				
Teeth Number	20				
Module (m)	2				
Face Width (mm)	20	30	40	50	75
Pressure Angle (°)	20				
Gear Ratio	1				

The selected material of all gear sets is steel with Young’s modulus of  $21 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$  and Poisson's ratio of 0.3 for analysis. X and Y coordinates of involute and trochoid portions of the standard gear profile are generated by using homemade software which was developed in the scope of the following two studies: (Şahin, Akpolat, Yildirim, Uctu and Ersoz, 2014:12) and (Şahin B. 2015:13). Then these points are converted to curves by using Solidworks. Different region are generated on whole gear surface to provide fine or coarse mesh areas depending on critical stress location points. The final profile (ready to mesh) is then imported to SimXpert in Parasolid (x\_t) format without any data loss for meshing of the gear. Finally, it is analyzed by MARC Mentat of MSC.

Element types are triangular and quadratic (quadratic dominant) for the meshing of the gears in this study. It is applied to 2-D solid models successfully. The smallest size of the mesh in the contact region is selected as 50 micron.

FEM analysis is then carried out by using static structural analysis in MARC FEA Software of MSC. Results of the FE analysis are compared with results of the theoretical calculations.

Boundary conditions are defined to specify the torque, rotation and supports which allows gear pair rotation about the Z-axis in the counter clockwise direction. Therefore, the torque of 160.428 Nm is applied at the gear shaft at Z axis in that direction. Figure 1 indicates the rotational direction and the torque applied.



**Figure.1.** Spur gear pair: (a) torque applied and rotational direction on hubs at Z axis, (b) enlarged teeth pairs.

## 2.2 Theoretical calculation of contact stresses by the analytical method (AGMA standard)

Based on the Hertzian theory, the contact stress equation by AGMA standard (AGMA, 2010:14) is given as in Eqn. 1:

$$\sigma_c = Z_E \sqrt{W' K_o K_v K_s \frac{K_H Z_R}{d_{w1} b Z_I}} \quad (1)$$

$W^t$  is the transmitted tangential load applied on gear teeth. Where  $K_o$ ,  $K_v$ ,  $K_s$  and  $K_H$  are the overload factor, dynamic factor, size factor and the load distribution factor, respectively.  $d_{wl}$  is the pitch diameter of the pinion and  $b$  is the face width. Surface condition factor for pitting resistance ( $Z_R$ ) is taken as unity because appropriate surface condition is assumed in accordance with suggestion of AGMA standard. Table 4 shows the values of the parameters used in AGMA equations (AGMA, 2010:14):

**Table 4.** Values of parameters used in AGMA equations

Parameter	Value
$Z_E$	$191\sqrt{MPa}$
$K_o$	1.0
$K_v$	1.0
$K_s$	1.0
$K_H$	1.0
$Z_I$	0.08

$Z_E$  is the elasticity coefficient can be written as in Eqn. 2:

$$Z_E = \left[ \frac{1}{\pi \left( \frac{1-\nu_p^2}{E_p} + \frac{1-\nu_g^2}{E_g} \right)} \right]^{1/2} \quad (2)$$

Where  $\nu$  and  $E$  are the Poisson's ratio and modulus of elasticity, respectively. Suffix  $G$  represents the gear and  $P$  stands for pinion.  $Z_I$  is the geometry factor can be calculated as in Eqn. 3:

$$Z_I = \frac{\cos\phi_t \sin\phi_t}{2m_N} \frac{m_r}{m_r + 1} \quad (3)$$

Where  $\phi_t$  is the pressure angle.  $m_N$  is the load sharing ratio (for spur gears  $m_N=1$ ).  $m_r$  is defined as the gear ratio in Eqn. 4.

$$m_r = \frac{Z_G}{Z_P} \quad (4)$$

Where  $Z_P$  and  $Z_G$  are the teeth number of pinion and gear, respectively.

### 3. Results and Discussion

In this study, spur gears with different number of teeth, modules and face width without profile modification are investigated. In order to calculate theoretical contact stress, it is necessary to calculate AGMA parameters in Eq. (1). Also, this study contains comparisons of the contact stress results of theoretical calculations and numerical works obtained from the AGMA equations and MARC Software respectively. The maximum contact stress values of FEM are taken from the second tooth pair contact of pinion.

In order to achieve the required objectives in this study, the three parameters of spur gear geometry are changed, which are number of teeth, module and face width. Two of these parameters are kept constant while third one is changed for case studies to obtain effect of each parameter on contact stress separately.

#### 3.1 Number of Teeth

The results of the contact stress analysis show that increase of number of teeth causes to decrease in contact stress. Figure 2 and Table 5 presents the effect of number of teeth on the contact stress. It is clear that the change of the number of teeth from 20 to 120 reduces the contact stress about 83 %.

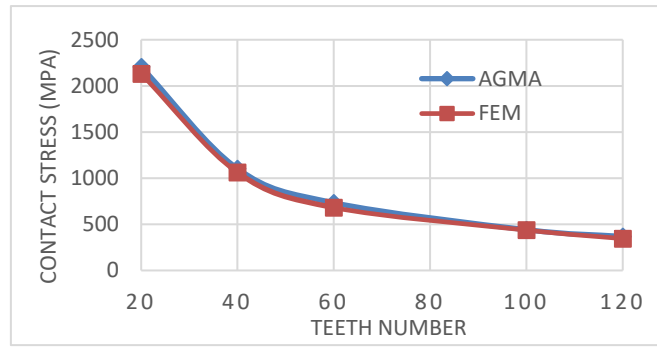


Figure 2. Effect of change of the number of teeth on contact stress

Table 5 Contact Stresses for different number of teeth

Number of Teeth	Contact Stresses by AGMA (MPa)	Contact Stresses by FEM (MPa)	Differences (%)
20	2206.42	2131.14	3.41
40	1103.21	1061.13	3.81
60	732.91	681.24	7.05
100	441.28	437.13	0.94
120	367.74	344.69	6.27

### 3.2 Module

The contact stresses based on AGMA stress equation and finite element analysis for modules ranging from 2 to 10 are compared in Figure 3 and Table 6. The contact stresses are inversely proportional to the module of the gear; as the module increases lead to the decrease in contact stresses.

Both the AGMA theories and FEA show the same pattern of results, although the nature of AGMA contact stresses is linear, but the FEA result of the drop of stresses shows non-linear nature which is possibly due to the size and type of the meshing.

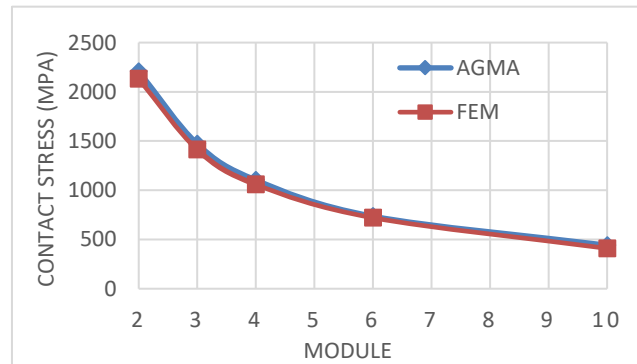


Figure 3. Effect of change of the module on contact stress

Table 6. Contact Stresses for different modules

Module (mm)	Contact Stresses by AGMA (MPa)	Contact Stresses by FEM (MPa)	Differences (%)
2	2208.48	2131.14	3.50
3	1472.32	1412.77	4.04
4	1104.24	1059.15	4.08
6	736.16	720.65	2.11
10	441.70	409.90	7.20

### 3.3 Face Width

The change of the maximum contact stress in gears with different values of face width is shown in Figure 4. It is observed that the maximum contact stress decreases with the increase of face width. Table 7 shows the comparison the contact stresses obtained from finite element works and theoretical calculations.

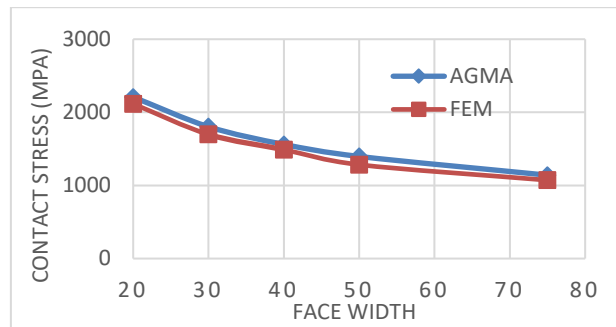


Figure 4. Effect of change of the face width on contact stress

Face width (mm)	Contact Stresses by AGMA (MPa)	Contact Stresses by FEM (MPa)	Differences (%)
20	2208.48	2115.39	4.22
30	1803.22	1698.30	5.82
40	1561.63	1489.85	4.60
50	1396.77	1283.90	8.08
75	1140.45	1071.84	6.02

Table 7 Contact Stresses for different face width

The comparison between numerical and theoretical calculations shows that there is a good compatibility between them; therefore the validity of the FEA is satisfied. The Marc FEA results show a similar trend with the theoretical results. This indicates that the FEA model is suitable for contact stress calculation. Results show the great compatibility between numerical and theoretical results of three cases. Since the results of AGMA calculations and FEA results of the contact stress are close to each other (maximum difference is about 8 %).

### 4. Conclusion

Based on this study of five different gear pairs, the following results can be concluded:

1. The FEM gear model is verified with AGMA equations. The models of gear pairs are suitable for analysis in terms of the contact stresses and the results obtained are in good compatibility with the analytical calculations.
2. AGMA based design calculations of gear are validated using FEM.
3. In all cases, contact stresses calculated by MSC Software MARCH and AGMA are found in agreement and noticed the maximum percentage error between results is about 8 %.
4. The contact stresses decrease with increase of number of teeth, module, face width with zero coefficient of friction and the percent reduction in the contact stresses are given below for AGMA calculations:

- a) 50 % when the number of teeth is changed from 20 to 40;  
83 % when the number of teeth is changed from 20 to 120.
- b) 33 % while module is increased from 2 mm to 3 mm; 80 % while module is increased from 2 mm to 10 mm.
- c) 18 % when face width is increased from 20 mm to 30 mm; 48 % when face width is increased from 20 mm to 75 mm.

Similar reductions can be seen in FEM values and these results validate the FEM results.



## References

- [1] Marimuthu, P. and Muthuveerappan, G. (2016). Design of asymmetric normal contact ratio spur gear drive through direct design to enhance the load carrying capacity. *Mechanism and Machine Theory*, 95, 22-34.
- [2] Zhan, J. Fard, M. and Jazar, R. (2015). A quasi-static FEM for estimating gear load capacity. *Measurement*, 75, 40-49.
- [3] Farhan, M. Karuppanan, S. and Patil, S. S. (2015). Frictional contact stress analysis of spur gear by using *Finite Element Method*. in *Applied Mechanics and Materials*, 772, 159-163. Trans Tech Publications.
- [4] Sankpal, A. M. and Mirza, M. M. (2014). Contact stress analysis of spur gear by photoelastic technique and Finite Element Analysis. *International Journal on Theoretical and Applied Research in Mechanical Engineering*, ISSN (Print): 2319-3182, 3(2), 39-43.
- [5] Patil, S. S. Karuppanan, S. Atanasovska, I. and Wahab, A. A. (2014). Contact stress analysis of helical gear pairs, including frictional coefficients. *International Journal of Mechanical Sciences*, 85, 205-211.
- [6] Karaveer, V. Mogrekar, A. and Joseph, T. P. R. (2013). Modeling and Finite Element Analysis of Spur Gear, *International Journal of Current Engineering and Technology*, 3(5), 2104-2107.
- [7] Hwang, S. C. Lee, J. H. Lee, D. H. Han, S. H. Lee, K. H. (2013). Contact stress analysis for a pair of mating gears, *Mathematical and Computer Modelling*. 57, 40-49.
- [8] Patil, S. Karuppanan, S. and Wahab, A. A. (2013). Contact Pressure evaluation of a gear pair along the line of action using finite element analysis. In *Applied Mechanics and Materials*, 393, 403-408.
- [9] Gupta, B. Choubey, A. and Varde G. V. (2012). Contact Stress Analysis of Spur Gear, *International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT)*, ISSN: 2278-0181, 1(4), 1-7.
- [10] Shinde, S. P. Nikam, A. A. and Mulla, T. S. (2010). Static Analysis of Spur Gear using Finite Element Analysis. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, ISSN: 2278-1684, pp. 26-31.
- [11] Tesfahunegn, Y. A. Rosa, F. Gorla, C. (2010). The Effects of the shape of Tooth Profile Modification on the Transmission Error Bending and Contact Stresses of Spur Gears. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 224(8), 1749-1758.
- [12] Şahin B. Akpolat A. Yildirim O. Uctu O. Ersoz A. (2014). Development of a user friendly interface for design and analysis of parallel axes gears based on international standards including quasi static transmission error curves. *International Gear Conference*, Lyon, 395-405.
- [13] Şahin B. (2015). Development of user friendly interface software for design and analysis of parallel axes external gears including quasi-static transmission error calculations. *Master Thesis*, University of Gaziantep.
- [14] AGMA 2101:D04. (2010). Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth.



# Effects of Extra Virgin Olive and Riviera Olive Oil Addition on the Properties of Butter: an Optimization Study Based on D-Optimal Mixture Design

Hasan Yalcın<sup>1</sup>, Tugba Dursun Capar<sup>2\*</sup>, Hatice Kavuncuoglu<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Erciyes University, Engineering Faculty, Food Engineering Department, Kayseri, Turkey (ORCID: 0000-0002-1038-1877)

<sup>2</sup> Erciyes University, Engineering Faculty, Food Engineering Department, Kayseri, Turkey (ORCID: 0000-0002-1075-0054)

<sup>3</sup> Erciyes University, Engineering Faculty, Food Engineering Department, Kayseri, Turkey (ORCID: 0000-0003-3315-771X)

(First received 21 June 2019 and in final form 6 September 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.580737)

**ATIF/REFERENCE:** Yalcın, H., Dursun Çapar, T. & Kavuncuoglu, H. (2019). Effects of Extra Virgin Olive and Riviera Olive Oil Addition on the Properties of Butter: an Optimization Study Based on D-Optimal Mixture Design. *European Journal of Science and Technology*, (17), 546-555.

## Abstract

Increased consumption of butter is associated with high blood pressure and serum cholesterol level for humans. Therefore, we aimed to form a functional butter by blending it with vegetable oils. In this study, butter was mixed with both extra virgin olive oil (EVOO) and riviera olive oil at different concentrations (20%, 30%, 35% and 40%). D-optimal mixture design, having two mixtures (EVOO and butter, riviera and butter) was used to see the effects and to have the optimum mixing level. Physicochemical analysis (moisture, fat content, color and viscosity), sensory analysis were conducted. In addition, major fatty acid compositions of the samples were characterized. Also, the effect of oil concentration on the texture of butter was evaluated. It was observed that viscosity of butter was decreased 104.2 mPa.s to 28.75 mPa.s by blending with vegetable oil. Addition of riviera olive oil increased  $L^*$  values, but decreased  $a^*$  and  $b^*$  values. Vegetable oil additions led to significant reduction in total saturated fatty acid levels and a significant increase in the levels of total unsaturated fatty acid ( $p < 0.05$ ). In sensory evaluations, the samples blended with 20% extra virgin olive oil and riviera olive oil received the highest rating. The results show that addition of vegetable oil improved the spreadability of butter and may be used as a functional fat.

**Keywords:** Butter, Extra virgin olive oil, Riviera olive oil, Health, Spreadability

## Ekstra Sızma Zeytinyağı ve Riviera Zeytinyağı İlavesinin Tereyağının Özellikleri Üzerine Etkileri: D-Optimal Dizayna Dayalı Optimizasyon Çalışması

### Öz

İnsanların fazla tereyağı yağ tüketimi, yüksek kan basıncı ve serum kolesterol seviyesini etkilemektedir. Bu yüzden, bu çalışma ile tereyağı, bitkisel yağlar ile karıştırılarak fonksiyonel bir yağ elde edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada tereyağı, ekstra sızma zeytinyağı ve Riviera zeytin yağı ile belirli konsantrasyonlarda (20%, 30%, 35% and 40%) karıştırılmıştır. D- optimal dizayn kullanılarak iki karışımın (ekstra sızma zeytinyağı ve tereyağı, Riviera zeytin yağı ve tereyağı) optimum karıştırma seviyesi ve etkileri incelenmiştir.

\* Corresponding Author: Erciyes University, Engineering Faculty, Food Engineering Department, Kayseri, Turkey, ORCID: 0000-0002-1075-0054, [tugbadursun@erciyes.edu.tr](mailto:tugbadursun@erciyes.edu.tr)

Fizikokimyasal analizler (nem, yağ miktarı, renk, viskozite), duyu analiz yapılmıştır. Buna ilave olarak, yağ asitleri kompozisyonları karakterize edilmiştir. Ayrıca eklenen bitkisel yağ miktarının tereyağının tekstürü üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Bitkisel yağ ilavesi ile tereyağının viskozitesi 104.2 mPa.s'den 28.75 mPa.s'ye kadar düşmüştür. Riviera zeytinyağı eklenmesi,  $L^*$  değerini artırmış fakat  $a^*$  ve  $b^*$  değerlerini azaltmıştır. Bitkisel yağ eklenmesi toplam doymamış yağ asiti içeriğinde önemli derecede azalmaya ve toplam doymamış yağ asiti içeriğinde önemli derecede artmaya sebep olmuştur ( $p < 0.05$ ). Duyusal analiz sonuçlarına göre, %20 riviera ve %20 ekstra sızma zeytinyağı eklenmiş tereyağı örnekleri en yüksek beğeniyi almıştır. Sonuçlar, bitkisel yağ ilavesinin tereyağın sürülebilirliğini arttırdığını ve karışımın fonksiyonel bir yağ olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Tereyağı, ekstra sızma zeytinyağı, Riviera zeytinyağı, sağlık, sürülebilirlik

## 1. Introduction

Texture and hardness of the butter are related to the levels of saturated and unsaturated fatty acids. Unsaturated fatty acids form a less firm and more spreadable butter due to their lower melting point (Hurtaud et al., 2007). Epidemiological studies have revealed that consumption of olive oil, which is a major part of the Mediterranean diet, has very positive health effects. It may have health benefits which include reduction of risk factors of coronary heart disease, prevention of several types of cancers, and modification of immune and inflammatory responses. (Covas et al., 2015; Martín-Peláez et al., 2017). Previous studies show that monounsaturated fatty acid (MUFA) consumption is positively related to many risk factors linked to coronary heart disease. MUFAs reduces total plasma triacylglycerol and LDL cholesterol levels and increases HDL cholesterol levels (Bellido et al., 2004).

The health benefits of olive oil is mainly related to its oleic acid content, which represents 55% to 83% of total fatty acids (Covas et al., 2015). Extra virgin olive oil is also rich in various additional bioactive compounds such as squalene, tocopherols, and hydrophilic compounds such as polyphenols, which may show favorable effects on insulin sensitivity. The content of these compounds of olive oil differs being contingent on the cultivation, climate, time of harvest as well as the extraction process of production.

Growing consumer demand for health has become a driving force for the increased levels of manufacturing of modified butter and butter-based spreads. Blending butter with vegetable oils contributes to spreads that improve nutritional value, offers advantageous organoleptic attributes and decreases production costs (Rousseau & Marangoni, 1998).

Butter's cold, difficult to spread consistency is its disadvantage. Margarines can be easily spread after being removed from the refrigerator, but butter cannot be spread easily. The consistency of butter could be changed by blending vegetable oils. Several modifications were suggested to get softer and more spreadable butter (Litz et al., 2006; Mortensen, 2011). Spreadability of butter can be modified by changing the physical properties of butter, which is dependent on factors such as solid fat content, melting point (Buldo et al., 2013), changes in cooling rates (Ronholt et al., 2012) as well as storage conditions of the finished product (Krause et al., 2008). More softer and spreadable butter can be also obtained by modifying the milk fat composition by changing animal feeding (Bayourthe et al., 2000), adding unsaturated fatty acids (Mallia et al., 2008), blending milk fat and vegetable oil (Lai et al., 2000; Rodrigues & Gioielli, 2003) or fractionating milk fat (Fatouh et al., 2003).

The purpose of this study was to produce a butter with an increased nutritional value, a reduced firmness and an improved spreadability. For this aim, butter was blended with riviera olive oil and extra virgin olive oil at concentration levels of 25, 30, 35 and 40 %. The viscosity, color, fatty acid composition, sensory analysis and texture analysis results were compared with control butter sample.

## 2. Material and Method

### 2.1. Material

Both extra virgin and riviera olive oil were obtained from retailers in Kayseri, Turkey. Butter samples were produced at the food processing and development lab (pilot plant) of Erciyes University. Solvents and reagents were analytical grade and were purchased from Sigma Aldrich and Merck.

### 2.2. Method

Oil samples were mixed along concentrations shown in Table 1. Butter was mixed with the 20, 30, and 40% of extra virgin olive oil and Riviera olive oil.

Table 1. Parameters studied in mixture optimization of butter

Design Constraints		
Low	Constraint	High
0.60	A:butter	0.80
0.20	B:riviera olive oil	0.40
	A+B	1.00
0.60	A:butter	0.80
0.20	B:extra virgin olive oil	0.40
	A+B	1.00

### 2.2.1. Viscosity

The viscosity values of the samples were determined at 25 °C employing a strain/stress controlled rheometer (RheoStress 1; Thermo Scientific Haake, Karlsruhe, Germany) furnished with a temperature-control unit (Haake, Karlsruhe, Germany), and a cone-plate configuration with a cone radius of 35 mm and a gap of 1.00 mm between the cone and the plate. The measurement of viscosity was repeated 5 times.

### 2.2.2. Color measurements

The oil samples' color values were analyzed by employing an automatic colorimeter (Lovibond RT Series Reflectance Tintometer; Lovibond, Amesbury, UK). The Lovibond tintometer provides values for  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ . The  $L^*$  values measure the level of black to white (0-100),  $a^*$  shows the degree of red to green (+ = red and - = green), and  $b^*$  shows the degree of yellow to blue (+ = yellow and - = blue). The samples' color measurement was redone for 5 times.

### 2.2.3. Fatty acid (FA) composition

3 ml of hexane was used for the dissolving of 100 mg oil sample of each oil type. Then, 100 µl 2 N KOH was added for saponification. The mixture was shaken with a vortex for 1 min and then centrifuged at 6.000 rpm for 5 min. The fatty acids compositions were analyzed by gas chromatograph (6890 N, Agilent Technologies, Palo Alto, USA), equipped with a Supelco HP 88 capillary column (100 mm x 0.25 mm ID, 0.2 µm HP 88) and a flame ionization detector. The temperature was selected 250 °C for injection. The oven temperature was kept at 103 °C for 1 min and then programmed from 103 to 170 °C at 6.5°C/min, from 170 to 215 °C for 12 min at 2.75 °C/min and finally at 230 °C for 5 min. The carrier gas helium with a flow rate of 2 ml/min, the split rate was 1/50 (Capar and Yalcin, 2017).

FA was established by retention times in comparison to accepted standards. The FAs were shown as percent of total fatty acid weight (Yalcin et al., 2012). The analyses of each sample were done in duplicate.

### 2.2.4. Sensory analysis

Sensorial properties of the blended samples were tested by semi-trained panelists. The panelist used the hedonic sensory analysis form, which ranged from a scale of 1-9, where 1 represented the lowest acceptability while 9 represented the highest acceptability, respectively. Ten panelists who were used to do the ratings were trained for a total of 10 hours. Their training lasted for 5 weeks and consisted of two 1-hour session per week. Their training consisted of evaluating butter and the blended samples for perception of taste and flavor characteristics. Training sessions were conducted as a group by tasting and describing the tastes and flavors of butter and its blended samples. A panel leader working with the panelists created descriptors in order to define the butter and its blended samples being tested. Afterwards, each of the panelists were supplied with examples of each descriptor and was asked to evaluate the butter and its blended samples for those descriptors. Several characteristics of the samples such as texture, taste, flavor and odor, color and overall visual and flavor acceptance were evaluated by the panelists during the storage.

### 2.2.5. Textural analysis

Textural analysis of butter samples was performed for effects of blending concentration on the spreadability. The texture profile analysis (TPA) was determined with a Texture Analyzer TA-XT2i (Stable Microsystems, Surrey, England) equipped with TTC Spreadability Rig probe supplied with Texture Exponent Programs. 5mm/s test speed, 10mm/s post-test speed, 60% strain, 70mm probe return distance, 10mm/s return speed and 5g contact force were selected as test parameters. 5 replicates were carried out for texture analysis.

### 2.2.6. Experimental design and Statistical analysis

In the current study, Combined D-optimal mixture design (Design Expert Software 8.0.7.1, State-Ease Inc., Minneapolis, USA) approach has been employed to determine optimum levels of the two variables (butter-riviera olive oil, butter-EVOO) regarding six responses; viscosity,  $L^*$  value,  $b^*$  value, total saturated fatty acids, total unsaturated fatty acids and general acceptability. Experimental runs for the D-optimal mixture design were shown in Table 2. The statistical parameters used in evaluating and selecting

the best-fitted model are coefficient of determination ( $R^2$ ), coefficient of variation (C.V.), standard deviation (SD) and lack of fit. The statistical analysis also constructs an equation from the best fitted model.

Table 2. Percentage composition of butter-riviera mixture

	<b>Component 1</b>	<b>Component 2</b>
<b>Run</b>	A:butter	B: riviera
1	0.700	0.300
2	0.700	0.300
3	0.800	0.200
4	0.600	0.400
5	0.800	0.200
6	0.700	0.300
7	0.600	0.400
8	0.650	0.350
9	0.800	0.200
10	0.600	0.400
11	0.800	0.200
12	0.700	0.300
13	0.600	0.400

	<b>Component 1</b>	<b>Component 2</b>
<b>Run</b>	A:butter	B: EVOO
1	0.600	0.400
2	0.700	0.300
3	0.700	0.300
4	0.600	0.400
5	0.800	0.200
6	0.800	0.200
7	0.650	0.350
8	0.800	0.200
9	0.600	0.400
10	0.600	0.400
11	0.700	0.300
12	0.650	0.350
13	0.800	0.200

### 3. Results and Discussion

In this study, butter was blended with riviera and extra virgin olive oil at different concentrations in order to see the effects on certain quality parameters. Control butter sample's properties were given in Table 3. Also, the values obtained for the tested samples were presented in Table 4.

Table 3. Control butter sample properties

<b>Butter</b>	<b>Properties</b>
Viscosity	104.2 mPa.s
$L^*$ value	84.60
$b^*$ value	20.86
Total saturated fatty acids	66.86 %
Total unsaturated fatty acids	33.14 %
General acceptability	5.65



Table 4. Change in the quality parameters of the butter-riviera olive oil samples

<i>Butter %</i>	<i>Riviera %</i>	<i>Viscosity (mPa.s)</i>	<i>L* values</i>	<i>b* values</i>	<i>Total saturated fatty acid (%)</i>	<i>Total unsaturated fatty acid (%)</i>	<i>General acceptability</i>
0.70	0.30	53.45	88.41	14.31	50.1	50.34	6.55
0.70	0.30	53.45	88.41	14.31	50.1	50.34	6.55
0.80	0.20	73.15	87.81	14.14	54.12	45.88	6.65
0.60	0.40	43.35	90.56	12.05	45.04	54.96	6.2
0.80	0.20	73.15	87.81	14.14	54.12	45.88	6.65
0.70	0.30	53.45	88.41	14.31	50.1	50.34	6.55
0.60	0.40	43.35	90.56	12.05	45.04	54.96	6.2
0.65	0.35	43.7	89.29	13.58	47.64	52.92	4.95
0.80	0.20	73.15	87.81	14.14	54.12	45.88	6.65
0.60	0.40	43.35	90.56	12.05	45.04	54.96	6.2
0.80	0.20	73.15	87.81	14.14	54.12	45.88	6.65
0.70	0.30	53.45	88.41	14.31	50.1	50.34	6.55
0.60	0.40	43.35	90.56	12.05	45.04	54.96	6.2
<i>Butter %</i>	<i>EVOO%</i>	<i>Viscosity (mPa.s)</i>	<i>L* values</i>	<i>b* values</i>	<i>Total saturated fatty acid (%)</i>	<i>Total unsaturated fatty acid (%)</i>	<i>General acceptability</i>
0.60	0.40	28.75	85.18	28.49	43.63	56.37	4.9
0.70	0.30	48.75	87.34	22.79	48.74	51.26	5.84
0.70	0.30	48.75	87.34	22.79	48.74	51.26	5.84
0.60	0.40	28.75	85.18	28.49	43.63	56.37	4.9
0.80	0.20	78.3	88.7	19.43	53.96	46.04	6.85
0.80	0.20	78.3	88.7	19.43	53.96	46.04	6.85
0.65	0.35	42.95	86.47	25.37	45.13	54.88	5.1
0.80	0.20	78.3	88.7	19.43	53.96	46.04	6.85
0.60	0.40	28.75	85.18	28.49	43.63	56.37	4.9
0.60	0.40	28.75	85.18	28.49	43.63	56.37	4.9
0.70	0.30	48.75	87.34	22.79	48.74	51.26	5.84
0.65	0.35	42.95	86.47	25.37	45.13	54.88	5.1
0.80	0.20	78.3	88.7	19.43	53.96	46.04	6.85

Addition of riviera and EVOO into butter decreased the viscosity of the samples. The viscosity of the control sample (butter) was found 104.2 mPa.s (Fig 1). However, addition of riviera decreased butter mix viscosity 73.15 and 43.7 mPa.s in 20% and 35% samples, respectively. EVOO addition also decreased butter mix viscosity 78.3 and 28.75 mPa.s in 20% and 40% samples, respectively (Fig 1).

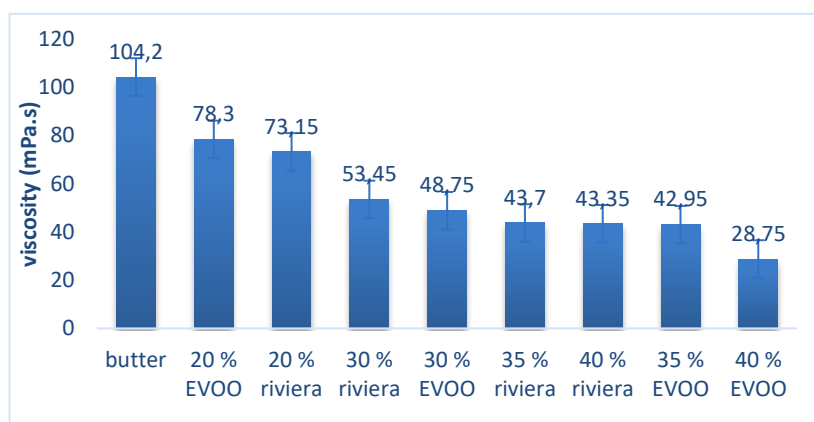


Figure 1. Viscosity of the samples

The highest viscosity was observed in control butter sample which can be due to the existence of high amounts of saturated fatty acid and relatively low amounts of unsaturated fatty acids. Addition of riviera and EVOO decreased the viscosity because of the high level

of unsaturated fatty acid compared to control butter sample. Statistical analysis showed that viscosity of the samples was significantly affected by riviera and EVOO concentrations (Table 5). The mean viscosity for all samples was calculated as 54.22 mPa.s.

Table 5. Significance of the regression models (F values) and the effects of variables on physicochemical properties of blended samples

df	Physicochemical properties						
	Viscosity	L* value	b* value	Total saturated fatty acids	Total unsaturated fatty acids	General acceptability	
<b>Butter-riviera olive oil</b>							
Linear mixture	1	509.83 <sup>a</sup>	48.97 <sup>a</sup>	271.01 <sup>a</sup>	4491.83 <sup>a</sup>	4491.83 <sup>a</sup>	1662.08 <sup>a</sup>
Lack of fit	1	2.28	0.06	0.46	0.34	0.34	
Pure error	9						0.015
Corr total	12	2251.60	13.14	11.80	176.19	176.19	3.85
Model	2	274.12 <sup>a</sup>	30.21 <sup>a</sup>	195.69 <sup>a</sup>	2253.78 <sup>a</sup>	2253.78 <sup>a</sup>	628.39 <sup>a</sup>
SD		2.01	0.43	0.17	0.20	0.20	0.039
Mean		54.22	88.72	13.39	49.39	50.61	6.23
C.V %		3.70	4.09	1.28	0.40	0.39	0.62
R <sup>2</sup>		0.98	0.85	0.97	0.99	0.99	0.99
<b>Butter-EVOO</b>							
Linear mixture	1	5040.32 <sup>a</sup>	25.20 <sup>a</sup>	168.77 <sup>a</sup>	234.13 <sup>a</sup>	234.22 <sup>a</sup>	8.47 <sup>a</sup>
Lack of fit	1	32.67	0.25	1.72	0.92	0.94	0.063
Pure error	9						
Corr total	12	5105.66	25.70	172.21	235.97	236.09	8.60
Model	2	5040.32 <sup>a</sup>	25.20 <sup>a</sup>	168.77 <sup>a</sup>	234.13 <sup>a</sup>	234.22 <sup>a</sup>	8.47 <sup>a</sup>
SD		2.44	0.21	0.56	0.41	0.41	0.11
Mean		50.80	86.96	23.91	48.22	51.78	5.75
C.V %		4.80	0.24	2.34	0.85	0.80	1.87
R <sup>2</sup>		0.9872	0.9808	0.9800	0.9922	0.9921	0.9852

<sup>a</sup> P<0.01

Table 6 displays the regression equations for the parameters under study. These would be useful in estimating the parameters for different concentrations of butter and riviera olive oil or EVOO. As can be seen, the regression coefficients for the tested parameters were very high and acceptable.

Table 6. Effect of each mixture component<sup>a</sup> and their interactions on studied parameters of oil samples predicted by model Equations

Parameters (Y)	Predicted model equations <sup>b</sup>	R <sup>2</sup>
<b>Butter-Riviera olive oil</b>		
Viscosity	$Y = 161.99366 A + 298.69582 B - 724.22126 AB$	0.9803
L* value	$Y = 92.53315 A + 137.04823 B - 84.54885 AB$	0.8460
b* value	$Y = 7.33134 A - 46.59582 B + 109.38793 AB$	0.9727
Total saturated fatty acids	$Y = 59.62366 A - 4.39918 B + 45.61207 AB$	0.9976
Total unsaturated fatty acids	$Y = 40.37634 A + 104.39918 B - 45.61207 AB$	0.9976
General acceptability	$Y = -13.60250 A + 248.26 B - 434.125 AB + 389.58 AB (A-B)$	0.9947
<b>Butter-EVOO</b>		
Viscosity	$Y = 126.0642A - 118.5567 B$	0.9872
L* value	$Y = 92.2824 A + 74.9847 B$	0.9808
b* value	$Y = 10.134A + 54.8958 B$	0.9800
Total saturated fatty acids	$Y = 64.4407 A - 11.7184 B$	0.9922
Total unsaturated fatty acids	$Y = 35.5577 A + 88.2901 B$	0.9921
General acceptability	$Y = 8.8337 A - 1.1956 B$	0.9852

<sup>a</sup> A, and B were the mixture components; butter and riviera olive oil or EVOO, respectively.

<sup>b</sup> Final equations were constructed in terms of real components and actual factors.

Oil color changes from light yellow to dark green or brown, due to the type and concentration of the color pigments. The natural yellow color of butter results from presence of carotenoids, vitamin A and other pigments. A uniform light, pale yellow color seems to most often meet the consumer preferences. L\* value of the samples range between 85.18 and 90.56. L\* value of the control sample was found as 84.60. The lowest L\* value was observed in the control sample whereas the highest value was observed in riviera olive oil blended at 40% concentration. L\* value of the sample was affected by mixture component significantly ( $P < 0.01$ ). The lighter yellow color of butter blended with riviera in comparison to the control group might be caused by the presence of higher levels of carotenoids in riviera. b\* value of the samples was found as 12.05 and 28.49 riviera and EVOO samples at the 40% concentrations, respectively. b\* value of the control sample was found as 20.86. Riviera addition caused a decrement in b\* value of the samples. As the concentration of riviera increased, b\* value decreased. EVOO addition caused an increment L\* and b\* values in the samples (Table 4). The regression model shows that L\* and b\* values can be used to predict the unknown L\* and b\* values given the high levels of the coefficient of determination (Table 6,  $R^2 = 0.8460$  and  $R^2 = 0.9727$ , respectively). Besides the color changes, positive changes in the nutritional and sensory aspects have been observed in the product due to the addition of Riviera and EVOO to butter. Studies in recent years have focused on increasing the level of unsaturated fatty acid in dairy and milk products (Marius Collomb et al., 2006; Jones et al., 2005) due to their beneficial health effects. Butter naturally contains 25-35% unsaturated fatty acids which changes due to feeding regimen, season, breed and period of lactation (M. Collomb et al., 2004). According to our results, unsaturated fatty acids level of the control sample was found as 33.14% which is in good agreement with literature. Increasing the riviera or EVOO addition to butter, increases the total unsaturated fatty acid concentration in blended samples. Total unsaturated fatty acid level in EVOO blended samples were higher than riviera at all concentrations. Major fatty acids of control butter sample were found as palmitic (33.39%), oleic (30.94%), stearic (12.73%) and myristic (11.50%). These results shows similarity with previous literature (Seçkin et al., 2005).

Sensory analysis become a necessity in food industry due to the fact that today's consumers are more aware and expect products not only safe and nutritious but also with a high organoleptic quality to satisfy their senses. Sensory analysis results showed that general acceptability was in the range between 4.9 and 6.85. General acceptability of the samples decreases as the EVOO or riviera concentration increases except 40% riviera blended sample. The highest score was found in the 20% EVOO blended samples whereas lowest was observed in the 40% EVOO blended samples. General acceptability of control sample was found as 5.65. Addition of EVOO or riviera at the concentration of 20%, increased the general acceptability of the samples.

The texture is important for the spreadability of butter. Blending butter with EVOO and riviera increased the spreadability of the butter (Figure 2). Results showed that the mixing level of the vegetable oil changed the spreadability rating as a textural property. As the concentration of the riviera and EVOO increased the firmness of butter samples decreased. The firmness value of the samples varied between 7662.88 g and 764.15 g. The highest firmness value was obtained in control butter sample and lowest value was obtained in 40% riviera blended sample.

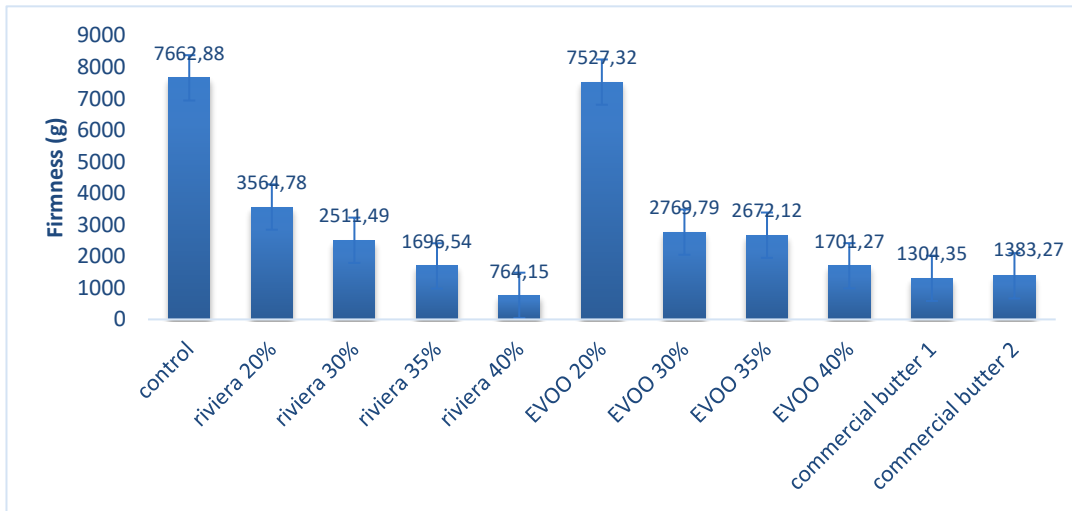


Figure 2. Firmness of butter and vegetable oil blended butter samples

### 3.1. Optimization of parameters

Table 7 presents the multiple response optimization results. Maximization and minimization of the processed variables are also given. Maximization was performed to determine the maximum butter concentration in the mixture without any quality disorder. Similarly, minimization was performed to determine the ideal blending ratio of the oils for the consumers.

Table 7. Multiple response optimization procedures applied to find optimum values of the parameters of

Parameters	Multiple response optimization							
	Minimization				Maximization			
	Minimum levels	Butter (%)	Riviera oil (%)	Desirability	Maximum levels	Butter (%)	Riviera oil (%)	Desirability
<b>butter- riviera olive oil mixture</b>								
Viscosity (mPa.s)	44.31	64	36	0.565	54.25	72	28	0.495
L* value	89.09				87.95			
b* value	13.11				14.28			
Total saturated fatty acids	47.06				50.89			
Total unsaturated fatty acids	52.94				49.11			
General acceptability	5.78				6.76			

Parameters	Multiple response optimization							
	Minimization				Maximization			
	Minimum levels	Butter (%)	EVOO (%)	Desirability	Maximum levels	Butter (%)	EVOO (%)	Desirability
Viscosity(mPa.s)	53.26	67	33	0.522	58.14	72	28	0.516
L* value	86.65				87.75			
b* value	24.71				22.56			
Total saturated fatty acids	47.27				49.80			
Total unsaturated fatty acids	52.73				50.20			
General acceptability	5.57				6.05			

The minimization process for riviera blended samples showed that minimum viscosity (44.31 mPa.s), L\* value (89.09), b\* value (13.11), total saturated fatty acids (47.06%), total unsaturated fatty acids (52.94%) and general acceptability (5.77) values would be

obtained by adding butter and riviera at the concentration of 64% and 36%, respectively. The desirability of these parameters was found as 0.565. With regard to the maximum values of the parameters under study, blending butter with riviera at the levels of 72% and 28 % resulted in viscosity,  $L^*$  value,  $b^*$  value, total saturated fatty acids, total unsaturated fatty acids and general acceptability to be 54.25 mPa.s, 87.95, 14.28, 50.89%, 49.11% and 6.76, respectively. The desirability function was determined to be 0.495 for these parameters. Optimization results indicate that butter blended with 20% riviera would have viscosity,  $L^*$  value,  $b^*$  value, total saturated fatty acids, total unsaturated fatty acids and general acceptability to be 73.45 mPa.s, 87.91, 14.05, 54.12%, 45.88% and 6.71, respectively. For providing better spreadability of butter, it should be blended with riviera to decrease its viscosity. Blending with riviera would cause a lower viscosity, higher total unsaturated fatty acids and general acceptability at the concentration of 63% butter blended with 37% of riviera. This mixture desirability would be 0.726.

Minimization process for the EVOO blended samples showed that minimum viscosity 53.26 mPa.s,  $L^*$  value 86.65,  $b^*$  value 24.71, total saturated fatty acids 47.27%, total unsaturated fatty acids 52.73% and general acceptability 5.57 values were obtained for the sample prepared with the addition of butter and EVOO at the concentration of 67% and 33 %. The desirability for these parameters was found as 0.522. According to maximization process results, the viscosity,  $L^*$  value,  $b^*$  value, total unsaturated fatty acids, total unsaturated fatty acids and general acceptability were found as 58.14 mPa.s, 87.75, 22.56, 49.80%, 50.20% and 6.05, respectively. The desirability function was found as 0.516 for these parameters. Optimization results for EVOO showed that butter blended with 20% EVOO would have viscosity,  $L^*$  value,  $b^*$  value, total saturated fatty acids, total unsaturated fatty acids and general acceptability to be 77.14 mPa.s, 88.70, 19.09, 53.89%, 46.10% and 6.83, respectively. For providing better spreadability of butter, it should be blended with EVOO to decrease the viscosity. Blending with EVOO would cause a lower viscosity, 65% of butter could be blended with 35% of EVOO. The desirability of this mixture would be 0.586.

#### 4. Conclusions and Recommendations

Due to their beneficial health effects, consumers have increasingly come to prefer dairy products enhanced with unsaturated fatty acids. Butter is rich in saturated fatty acid whereas EVOO and riviera olive oil rich in unsaturated fatty acids. Blending butter with vegetable oils decreases the saturated fatty acid level, which in turn reduces many associated risk factors related to coronary heart disease. Furthermore, blending butter with vegetable oils decreases firmness that is important for the spreadability of butter. The addition of EVOO and riviera to butter positively affects the physicochemical characteristic of butter. Results have shown that 30 % riviera blended butter samples presented more intense yellow color, high level of unsaturated fatty acids, higher general acceptability and lower firmness compared to control sample. The results of this study shed light on obtaining an optimal butter mix that has better spreadability and higher nutritional value and less harmful health effects.

#### References

- Bayourthe, C., Enjalbert, F., & Moncoulon, R. 2000. Effects of different forms of canola oil fatty acids plus canola meal on milk composition and physical properties of butter. *Journal of Dairy Science*, 83(4), 690-696. doi:10.3168/jds.S0022-0302(00)74930-7
- Bellido, C., López-Miranda, J., Blanco-Colio, L. M., Pérez-Martínez, P., Muriana, F. J., Martín-Ventura, J. L., . . . Egido, J. 2004. Butter and walnuts, but not olive oil, elicit postprandial activation of nuclear transcription factor  $\kappa$ B in peripheral blood mononuclear cells from healthy men. *The American journal of clinical nutrition*, 80(6), 1487-1491.
- Buldo, P., Kirkensgaard, J. J., & Wiking, L. 2013. Crystallization mechanisms in cream during ripening and initial butter churning. *Journal of Dairy Science*, 96(11), 6782-6791. doi:10.3168/jds.2012-6066
- Capar, T.D. & Yalcin, H.2017. Effects of pre-drying effects on the quality of frying oil and potato slices. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*. 9 (3), 255-264.
- Collomb, M., Schmid, A., Sieber, R., Wechsler, D., & Ryhänen, E.-L. 2006. Conjugated linoleic acids in milk fat: Variation and physiological effects. *International Dairy Journal*, 16(11), 1347-1361.
- Collomb, M., Sieber, R., & Butikofer, U. 2004. CLA isomers in milk fat from cows fed diets with high levels of unsaturated fatty acids. *Lipids*, 39(4), 355-364.
- Covas, M.-I., de la Torre, R., & Fitó, M. 2015. Virgin olive oil: a key food for cardiovascular risk protection. *British Journal of Nutrition*, 113(S2), S19-S28. doi:10.1017/S0007114515000136
- Fatouh, A. E., Singh, R. K., Koehler, P. E., Mahran, G. A., El-Ghandour, M. A., & Metwally, A. E. 2003. Chemical and thermal characteristics of buffalo butter oil fractions obtained by multi-step dry fractionation. *LWT - Food Science and Technology*, 36(5), 483-496. doi:[https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(03\)00044-6](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(03)00044-6)
- Hurtaud, C., Delaby, L., & Peyraud, J.-L. 2007. The nature of preserved forage changes butter organoleptic properties. *Le Lait*, 87(6), 505-519.
- Jones, E. L., Shingfield, K. J., Kohen, C., Jones, A. K., Lupoli, B., Grandison, A. S., . . . Yaqoob, P. 2005. Chemical, physical, and sensory properties of dairy products enriched with conjugated linoleic acid. *Journal of Dairy Science*, 88(8), 2923-2937. doi:10.3168/jds.S0022-0302(05)72973-8
- Krause, A. J., Miracle, R. E., Sanders, T. H., Dean, L. L., & Drake, M. A. 2008. The effect of refrigerated and frozen storage on butter flavor and texture. *Journal of Dairy Science*, 91(2), 455-465. doi:10.3168/jds.2007-0717
- Lai, O. M., Ghazali, H. M., Cho, F., & Chong, C. L. 2000. Physical properties of lipase-catalyzed transesterified blends of palm stearin and anhydrous milk fat. *Food Chemistry*, 70(2), 215-219. doi:[https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00083-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00083-2)



- Litz, B., Obert, G., & Szily, B. 2006. Examination of the correlation of butter spreadability and its fat conformation by DSC. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 84(2), 425-428.
- Mallia, S., Piccinali, P., Rehberger, B., Badertscher, R., Escher, F., & Schlichtherle-Cerny, H. 2008. Determination of storage stability of butter enriched with unsaturated fatty acids/conjugated linoleic acids (UFA/CLA) using instrumental and sensory methods. *International Dairy Journal*, 18(10), 983-993. doi:<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2008.05.007>
- Martín-Peláez, S., Mosele, J. I., Pizarro, N., Farràs, M., de la Torre, R., Subirana, I., . . . Fitó, M. 2017. Effect of virgin olive oil and thyme phenolic compounds on blood lipid profile: implications of human gut microbiota. *European Journal of Nutrition*, 56(1), 119-131. doi:10.1007/s00394-015-1063-2
- Mortensen, B. 2011. Butter and other milk fat products| The product and its manufacture.
- Rodrigues, J. N., & Gioielli, L. A. (2003). Chemical interesterification of milkfat and milkfat-corn oil blends. *Food Research International*, 36(2), 149-159. doi:[https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(02\)00130-8](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(02)00130-8)
- Ronholt, S., Kirkensgaard, J. J., Pedersen, T. B., Mortensen, K., & Knudsen, J. C. 2012. Polymorphism, microstructure and rheology of butter. Effects of cream heat treatment. *Food Chemistry*, 135(3), 1730-1739. doi:10.1016/j.foodchem.2012.05.087
- Rousseau, D., & Marangoni, A. G. 1998. The effects of interesterification on physical and sensory attributes of butterfat and butterfat–canola oil spreads. *Food Research International*, 31(5), 381-388. doi:[https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(98\)00100-8](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(98)00100-8)
- Seçkin, A. K., Gursoy, O., Kinik, O., & Akbulut, N. 2005. Conjugated linoleic acid (CLA) concentration, fatty acid composition and cholesterol content of some Turkish dairy products. *LWT - Food Science and Technology*, 38(8), 909-915. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.09.011>
- Yalcin, H., Toker, O. S., Ozturk, I., Dogan, M., & Kisi, O. 2012. Prediction of fatty acid composition of vegetable oils based on rheological measurements using nonlinear models. *European journal of lipid science and technology*, 114(10), 1217-1224. doi:10.1002/ejlt.201200040



# Yetişkin Bireylerin Probiyotik Gıdaları Bilme ve Tüketme Durumları Üzerine Bir Araştırma

Dilek Arduzlar Kağan<sup>1\*</sup>, Tuğçe Özlü<sup>2</sup>, Hande Yurttaş<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Bahçeşehir Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8688-9039)

<sup>2</sup>Araştırma Görevlisi, Bahçeşehir Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0139-676X)

<sup>3</sup>Bahçeşehir Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9836-2816)

(İlk Geliş Tarihi 29 Temmuz 2019 ve Kabul Tarihi 27 Eylül 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.598208)

**ATIF/REFERENCE:** Arduzlar Kağan, D., Özlü, T. & Yurttaş, H. (2019). Yetişkin Bireylerin Probiyotik Gıdaları Bilme Ve Tüketme Durumları Üzerine Bir Araştırma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 556-563.

## Öz

Probiyotikler, yeterli miktarda alındığında konakçı sağlığı üzerine olumlu etkileri olan canlı mikroorganizmalar olarak tanımlanmaktadır. Probiyotiklerle ilgili yapılan kapsamlı çalışmalar, probiyotiklerin hastalıklar üzerindeki tedavi edici etkisi üzerinde yoğunlaşırken, bireylerin probiyotik gıda tüketim durumlarını gösteren fazla sayıda çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Bu araştırma yetişkin bireylerin probiyotik gıda tüketim durumları ile bu gıdalar hakkında bilgi düzeylerinin değerlendirilmesi amacıyla İstanbul İlinde yaşayan 18-45 yaş arası 66 kadın ve 44 erkek olmak üzere toplam 110 yetişkin birey üzerinde gerçekleştirilmiştir. Katılımcılara araştırmacılar tarafından yüz yüze anket uygulanarak probiyotik gıda tüketim durumları ve gıdalar hakkındaki bilgi düzeyleri belirlenmiştir. Katılımcıların %64,5'i probiyotik gıda terimini bildiğini, %73,6'sı probiyotik gıdaları tükettiklerini beyan etmişlerdir. Probiyotik gıda tüketmediğini söyleyen katılımcıların %45,2'si probiyotik gıda terimini bilmedikleri için, %23,8'i ise probiyotik gıdaları pahalı buldukları için tercih etmedikleri tespit edilmiştir. Katılımcıların cinsiyet, yaş ve sağlık durumu incelendiğinde kadınların erkeklere göre probiyotik gıda kavramını anlamlı şekilde daha fazla bildiği bulunmuştur. Yaş grupları ve sağlık problemi varlığına göre ise probiyotik gıdaların bilinirliği ve tüketim oranları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. Katılımcıların %30,4'ü probiyotik gıdaların düzenli tüketiminin bağırsak sisteminin düzenlenmesi ve kolon kanserine karşı koruyucu olduğu konusunda ve %52,7'si probiyotik gıdaların düzenli tüketiminin kolesterolün azaltılması ve kalp-damar hastalıklarına karşı koruyucu olduğu konusunda kararsız kalmışlardır. Bireylerin %64,3'ü ise probiyotik gıdaların düzenli tüketiminin bağışıklık sisteminin aktivasyonunda etkili olduğunu belirtmişlerdir. Sağlığı koruyucu ve geliştirici etkileri olan probiyotikler hakkında toplumda var olan bilgi eksikliği bu besinlerin tüketimini de engellemektedir. Sonuç olarak, probiyotik gıdaların sağlık üzerine olan katkıları daha fazla bireye ulaşmalı ve bu gıdaların tüketim sıklıklarının artırılması için gerekli müdahaleler planlanmalıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Probiyotik, Gıda, Beslenme, Mikrobiyota, Sağlık

## A Research on the Knowledge and Consumption of Probiotic Foods in Adults

### Abstract

Probiotics are defined as living microorganisms that have positive effects on host health when taken in sufficient amounts. While extensive studies on probiotics have focused on the therapeutic effect of probiotics on diseases, a large number of studies showing the probiotic food consumption status of individuals have not been found in the literature.

The aim of this study is to evaluate the probiotic food consumption of adults and their knowledge about these foods. The study was conducted on 110 adult individuals (66 females and 44 males) aged between 18-45 years living in Istanbul. A face-to-face

\* Sorumlu Yazar: Dr.Öğr.Üyesi, Bahçeşehir Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0001-8688-9039, [dilek.arduzlarkagan@hes.bau.edu.tr](mailto:dilek.arduzlarkagan@hes.bau.edu.tr)

questionnaire was applied to the participants to determine the level of knowledge about probiotic food consumption and foods. 64.5% of the participants knew the term probiotic food and 73.6% of the participants stated that they consumed probiotic foods. It was found that 45.2% of the participants who stated that they did not consume probiotic food did not know the term probiotic food and 23.8% did not prefer probiotic food because they found it expensive. When the gender, age and health status of the participants were examined, it was found that women know the concept of probiotic food significantly more than men. There was no statistically significant difference between the knowledge and consumption rates of probiotic foods according to age groups and the presence of health problems. 30.4% of the participants were uncertain that regular consumption of probiotic foods was protective against the regulation of the intestinal system and colon cancer and 52.7% were uncertain that regular consumption of probiotic foods was protective against cholesterol reduction and cardiovascular diseases. 64.3% of individuals stated that regular consumption of probiotic foods is effective in the activation of the immune system. As a result, the effects on health of probiotic foods should be explain more individuals and interventions should be planned to increase the frequency of consumption of these foods. The lack of knowledge about the probiotics that have health-protective and improving effects prevents the consumption of these foods. In conclusion, the contribution of probiotic foods to health should reach more individuals and interventions should be planned to increase the frequency of consumption of these foods.

(Minimum 250 - Maximum of 400 words and content should be written in a way to include material, method, findings and results.)

**Keywords:** Probiotic, Food, Nutrition, Microbiota, Health

## 1. Giriş

Bağırsak mikrobiyotası; insanlarda beslenme başta olmak üzere, fizyolojik, metabolik, immünolojik birçok olayda etkin rol oynamaktadır. Bağırsak mikrobiyotasının sağlık üzerine etkilerini inceleyen çalışmalara olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Faydalı bakterilerin azalması zararlı bakterilerin artması olarak adlandırılan mikrobiyal disbiyozisin; obezite, diyabet, metabolik sendrom ve gastrointestinal hastalıklar ile ilişkili olduğu hem hayvan modellerinde hem de insan çalışmalarında ortaya çıkarılmıştır (McCabe ve ark., 2015; Altuntaş ve Batman, 2017).

Günlük beslenmenin bir parçası olan fonksiyonel gıdalar sağlığı olumlu yönde etkileyen, kardiyovasküler hastalıklar, enfeksiyonlar, kanser, diyare, konstipasyon ve osteoporoz gibi birçok hastalığı önleyebilen doğal maddelerdir (Milner, 1999). Fonksiyonel gıdaların bağırsak mikrobiyotasının gelişimini, metabolik aktivitesini ve dolayısıyla bileşimi ve fonksiyonlarını etkileyerek sağlık üzerine olumlu etkiler gösterdiği belirtilmiştir (Laparra ve Sanz, 2010). En bilinen fonksiyonel gıdaların başında probiyotik gıdalar gelmektedir (Grajek ve ark., 2005). Probiyotikler, yeterli miktarda alındığında konakçı sağlığı üzerine olumlu etkileri olan canlı mikroorganizmalar olarak tanımlanmaktadır (Johnston ve ark., 2006). Fizyolojik işlevleri geliştirerek sağlığı olumlu yönde etkileyen probiyotikler, patojen mikroorganizmaların çoğalmasını baskılamaktadır (Coşkun, 2006). Probiyotiklerle ilgili son yıllarda yapılan çalışmalarda sağlık üzerindeki etkisinin yalnızca mikroorganizma hücrelerinden dolayı değil, metabolitlerinden dolayı da kaynaklandığını söylenmektedir (Aydın ve ark., 2010). Probiyotiklerin antibiyotik kaynaklı ishaller, atopik hastalıklar ile enflamatuvar barsak hastalıkları tedavisinde etkili olduğu, bağışıklık sistemini destekleyerek enfeksiyonlara karşı koruyucu etkileri olduğu bilinmektedir (Derin ve Keskin, 2013). Obezite, non alkolik yağlı karaciğer hastalığı, tip 2 diyabet, çeşitli kanser türleri, kardiyovasküler hastalıklar gibi kronik hastalıklara karşı koruyucu etkileri de olan probiyotiklerle ilgili çalışmalar (Ejtahed ve ark., 2011; Ethajed ve ark., 2012; Saez ve ark., 2016; Nazarii ve ark., 2016; Ambalam ve ark., 2016; Yu ve Li, 2016; Liu ve ark., 2017) çoğunlukla probiyotiklerin hastalıklar üzerinde nasıl bir mekanizma ile koruyucu ve tedavi edici etki gösterdiği üzerinde yoğunlaşırken, probiyotik gıda tüketim durumlarını gösteren çok fazla çalışmaya literatürde rastlanmamıştır.

Bu çalışmada İstanbul ilinde yaşayan yetişkin bireylerin probiyotik gıda tüketim durumları ile bu gıdalar hakkında bilgi düzeylerini belirlemek ve cinsiyet, yaş ve sağlık durumunun probiyotik gıda tüketimini ve probiyotik gıdalar hakkında var olan bilgi düzeyini nasıl etkilediğini saptamak amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Araştırma yetişkin bireylerin probiyotik gıdaları tüketim durumları ve bilgi düzeylerini belirlemek amacıyla Şubat- Mart 2016 ayları arasında İstanbul ilinde yaşayan 18-45 yaş arası 66 kadın ve 44 erkek olmak üzere toplam 110 yetişkin birey üzerinde gerçekleştirilmiştir. Katılımcılara araştırmacılar tarafından benzer çalışmalar örnek alınarak hazırlanan, kişisel bilgiler, genel sağlık bilgileri, probiyotik gıdalarla ilgili bilgi düzeyleri ve probiyotik gıda tüketim sıklığının sorgulandığı 4 bölümden oluşan bir anket uygulanmıştır. Anketler yüz yüze görüşme yöntemiyle gerçekleştirilmiştir.

### 2.1. Verilerin Değerlendirilmesi

Çalışmadan elde edilen bulgular değerlendirilirken, istatistiksel analizler için SPSS (Statistical Package for Social Sciences) for Windows 20,0 programı kullanılmıştır. Çalışma verileri değerlendirilirken tanımlayıcı istatistiksel metodların yanı sıra niteliksel verilerin karşılaştırılmasında Ki-Kare testi ve Frequency testi uygulanmıştır. Anlamlılık  $p < 0.05$  düzeyinde değerlendirilmiştir.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Kelime anlamı “yaşam için uygun” olan probiyotik kavramı, yeterli miktarda alındığında sağlığa olumlu etkileri olan canlı mikroorganizmalar olarak tanımlanmaktadır. Probiyotik gıdalar ise bağırsak mikroflora dengesini geliştirerek sağlığı olumlu etkileyen bu canlı mikroorganizmaları yeterli miktarda içeren gıdalardır (Gandhi ve Shah, 2017). Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı tarafından 2011 yılında yayınlanan Türk Gıda Kodeksi Etiketleme Yönetmeliği'ne göre bir gıdanın probiyotik olarak tanımlanabilmesi için en az  $1 \times 10^6$  koloni oluşturan birim (kob)/gram probiyotik mikroorganizma içermesi gerekmektedir (Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, 2011). Bu gıdaların tüketimi uzun yıllara dayansa da bilim topluluğunda probiyotik gıdaların sağlık etkilerinin ortaya çıkarılması 1900'lere dayanmaktadır (Gandhi ve Shah, 2017). Günümüzde probiyotik gıdalarla ilgili yapılan çalışmalar bu gıdaların sağlığı hangi yollarla etkilediği üzerine planlanırken probiyotik gıda tüketim durumunu ortaya koyan çalışmalar hala eksikliğini sürdürmektedir.

Bu çalışma İstanbul ilinde yaşayan 18 – 45 yaş arasında 66'sı kadın, 44'ü erkek 110 kişinin probiyotik gıdalar hakkında bilgi düzeylerini ve probiyotik gıda tüketim durumlarını saptamak ve cinsiyet, yaş, sağlık durumu gibi faktörlerin bilgi düzeylerini ve tüketim durumlarını ne derece etkilediğini ortaya koymak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Katılımcıların çoğu üniversite mezunudur (%62,7). Bireylerin 18-24, 25-34 ve 35-45 yaş arasında eşit dağıldığı görülmektedir. Katılımcıların çoğunun herhangi bir sağlık sorunu bulunmamakla birlikte (%54,5), bireylerin %39'u sigara, %41,8'i ise alkol kullanmaktadır (Tablo 1).

Tablo 1. Katılımcılar İle İlgili Tanımlayıcı bilgiler (N=110)

	Sayı (n)	Yüzde (%)
<b>Cinsiyet</b>		
Kadın	66	60,0
Erkek	44	40,0
<b>Yaş</b>		
18-24	39	35,5
25-34	40	36,4
35-45	31	28,1
<b>Öğrenim Durumu</b>		
İlkokul	7	6,4
Lise	29	26,4
Üniversite	69	62,7
Master/Doktora	5	4,5
<b>Meslek</b>		
Çalışmıyor/Ev Hanımı	3	2,7
Memur	38	34,6
Öğrenci	25	22,7
Diğer	44	40,0
<b>Sigara Kullanımı</b>		
Evet	43	39,0
Hayır	67	61,0
<b>Alkol Kullanımı</b>		
Evet	46	41,8
Hayır	64	58,2
<b>Var olan hastalıklar</b>		
Sağlık problemi olmayan	60	54,5
Diyabet	9	8,2
Böbrek hastalığı	2	1,8
Diş problemleri	9	8,2
Anemi	9	8,2
Göz rahatsızlığı	18	16,4
Kalp damar hastalığı	3	2,7

Yetişkinlerin probiyotik gıda kavramına ilişkin parametreleri incelendiğinde katılımcıların yarısından fazlası daha önceden probiyotik terimini duyduğunu (%64,5) ve probiyotik gıdaları tükettiğini (%73,6) belirtmiştir. Probiyotik gıda tüketmediğini söyleyen katılımcıların %45,2'si probiyotik gıda terimini bilmediği için, %23,8'i ise probiyotik gıdaları pahalı buldukları için tercih etmedikleri tespit edilmiştir. Katılımcıların çoğu (%32,4) probiyotik gıda kavramını reklam yolu ile duyduklarını belirtirken %47,3'ü görsel ve

yazılı basının probiyotik tüketimini olumlu etkilediğini, %51,8'i ise etkilemediğini bildirmiştir. Katılımcıların % 13,4'ünün probiyotik gıdaları tek başına, % 28,9'unun yemekler ile birlikte, % 57,8'inin ise her iki şekilde de tükettiği belirlenmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Probiyotik Gıda Kavramına İlişkin Parametrelerin Dağılımı

Parametreler	Sayı (n)	Yüzde (%)
<b>Probiyotik gıda kavramının bilinilirliği</b>		
Evet	71	64,5
Hayır	39	35,5
<b>Probiyotik gıda tüketim durumu</b>		
Evet	81	73,6
Hayır	29	26,4
<b>Probiyotik gıdaları tüketim nedenleri (n=81)</b>		
Reklam (Gazete-Dergi)	10	12,3
Sağlık sorunları	23	28,4
Tavsiye	34	42,0
Diğer	14	17,3
<b>Probiyotik gıda kavramının hangi kaynaktan duyulduğu (n=74)</b>		
Uzman (Diyetisyen/Doktor)	16	21,6
Aile-arkadaş-tanıdık	20	27,0
Reklam(Gazete/Dergi)	24	32,4
Konferans-Bilimsel toplantı	7	9,5
Eczane-Satış noktası	7	9,5
<b>Görsel ve yazılı basının probiyotik tüketimini etkilemesi</b>		
Olumlu	52	47,3
Olumsuz	1	0,9
Etkilemiyor	57	51,8
<b>Probiyotik gıda tüketim şekli</b>		
Ara öğünlerde	13	11,8
Ana öğünlerde	28	25,5
Her iki şekilde	56	50,9
Hiç tüketmiyorum	13	11,8

Çalışmamıza benzer olarak, Koçak ve Kalkan'ın üniversite öğrencilerinin probiyotik gıdalar hakkındaki bilgi düzeyini ölçmek amacıyla 141 öğrenci üzerinde yürüttükleri çalışmada (2014), katılımcıların %50,4'ünün probiyotik gıda hakkında bilgi sahibi olduğu belirlenmiştir (Koçak ve Kalkan, 2014). 495 öğrencinin probiyotik gıda tüketim durumlarının incelendiği bir başka çalışmada öğrencilerin %61,6'sının probiyotik gıdaları tüketmediği, tüketmeme nedenlerinin ise bilmemek ve ihtiyaç duymamak olduğu saptamıştır (Derin ve Keskin, 2013). Anukam ve arkadaşlarının (2005) hekimlerin probiyotiklerle ilgili bilgi düzeylerini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada katılımcıların %95,2'sinin probiyotik terimini bilmediği ve tüm katılımcıların konuyla ilgili daha fazla



bilgi almak istedikleri belirlenmiştir (Anukam, 2006). Stanczak ve Heuburger'in (2009) Amerikalı 335 yetişkin üzerinde yürüttükleri çalışmada katılımcıların %38,5'i probiyotik terimini daha önce duyduklarını, % 27,2'si ise probiyotik kavramının ne olduğunu bildiklerini belirtmişlerdir (Stanczak ve Heuburger, 2009).

Çalışmamıza katılan ve probiyotik gıda tüketen yetişkin bireylerin büyük çoğunluğu (%50,9) öğünlerle birlikte probiyotik gıda tüketmektedir. Derin ve Keskin'in 495 öğrenci üzerinde yapmış olduğu çalışmada %62,6'sı probiyotik ürünleri tek başına, %31,1'i pilav ve makarnayla, %6,3'ü bisküvi, çikolata gibi gıdalarla tükettikleri belirtilmiştir (Derin ve Keskin, 2013). Sınırlı sayıda çalışmada, probiyotiklerin kısa süreli tüketiminin ad libitum öğünde enerji alımının azalmasına neden olduğu gösterilmiştir (Nabizadehasl, 2018). Bjerg ve arkadaşlarının (2014) 21 katılımcı üzerinde yürüttükleri çift kör randomize çapraz klinik çalışmada, sabit enerji içeren kahvaltılı öğünü ile birlikte her katılımcıya plasebo, düşük doz (109 kob/g) veya yüksek doz (1010 kob/g) L. casei W8 içeren kapsül verildikten 240 dakika sonra yüksek doz probiyotik tüketenlerin, plasebo ve düşük doza kıyasla ad libitum öğünün enerji alımında sırasıyla % 8,5 ve %15'lik bir azalma kaydedildiği belirlenmiştir (Bjerg ve ark., 2014).

Probiyotik mikroorganizmalar geleneksel fermente bitkisel ürünler, fermente süt ürünleri ve işlem görmüş bazı et ürünlerinde (yoğurt, kefir, ayran, turşu, tarhana, şalgam, şarap, bira, soya, zeytin, sucuk, pastırma, tütsülenmiş et bulunmaktadır (Bell ve ark, 2017). Çalışmamızda probiyotik gıda tüketen katılımcıların büyük çoğunluğu yoğurt (%86,3) ve peynir (%66,3) tüketirken, soya ve ürünleri (%0,9) kıymız (%1,8), hardaliye (%1,8) gibi spesifik probiyotik gıdaların tüketiminin ise çok az olduğu belirlenmiştir. Probiyotik gıdaların en çok bilinenleri sırasıyla yoğurt (%90,0) ve peynir (%66,3) iken en az bilinenleri sırasıyla hardaliye (%11,8) ve kıymızdır (%18,1) (Tablo 3). Katılımcıların probiyotik gıda tüketim sıklıkları incelendiğinde %37,2 oranında günde 1 kez yoğurt tüketildiği, %39,0 oranında günde 1 kez peynir tüketildiği, %15,4 oranında günde 1 kez sofralık zeytin tüketildiği tespit edilmiştir. 240 öğrenci ile yapılan bir çalışmada öğrencilerin %24,4'ü probiyotik gıdaları günde 1 kez, %19,8'i günde 2-3 kez, %23,3'ü haftada 1 kez, %11,6'sı ayda 1-3 kez, %11,6'sı ise nadiren tüketenlerin %20,9 olduğu bulunmuştur (Yabancı ve Şimşek, 2007).

Tablo 3. Katılımcıların Probiyotik Gıdaları Bilme ve Tüketme Durumları

Probiyotik Gıdalar	Bilen katılımcılar		Tüketen katılımcılar	
	n	%	n	%
Yoğurt	99	90,0	95	86,3
Peynir	73	66,3	73	66,3
Tereyağı	47	42,7	16	14,5
Kefir	63	57,2	16	14,5
Boza	35	31,8	5	4,5
Kıymız	20	18,1	2	1,8
Tarhana	31	28,1	8	7,2
Şalgam suyu	35	31,8	6	5,4
Soya ürünleri	25	22,7	1	0,9
Sofralık zeytin	40	36,3	21	19,0
Turşu	46	41,8	29	26,3
Hardaliye	13	11,8	2	1,8

Cinsiyet, yaş ve sağlık durumu ile probiyotik gıdaların bilinmesi ve tüketilme durumu incelendiğinde kadınların erkeklere göre probiyotik gıda kavramını anlamlı şekilde daha fazla bildiği bulunmuştur ( $p<0,05$ ). Bununla birlikte cinsiyet ile probiyotik gıdaların tüketim oranları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ( $p>0,05$ ). Yaş grupları ve sağlık problemi varlığına göre ise probiyotik gıdaların bilinirliği ve tüketim oranları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ( $p>0,05$ ) (Tablo 4). Çalışmamızın sonucuna benzer olarak Al-Nabulsi ve arkadaşlarının (2014) üniversite öğrencilerinin probiyotik gıdalara yönelik algı ve tutumlarını değerlendirdikleri çalışmada kız öğrencilerinin probiyotik gıdalar hakkında bilgi düzeylerinin erkek öğrencilere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Aynı çalışmada yaş grubu ve eğitim düzeyiyle öğrencilerin probiyotik gıdalar hakkında bilgi düzeyleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmamıştır (Al-Nabulsi ve ark., 2014).

Tablo 4. Cinsiyet ve Yaş Grupları ve Sağlık Durumuna Göre Probiyotik Gıda Kavramının Bilinirliği ve Probiyotik Gıda Tüketim Durumunun Değerlendirilmesi

	Probiyotik gıda bilinirliği			Probiyotik gıda tüketimi		
	Evet	Hayır	p	Evet	Hayır	P
<b>Cinsiyet</b>						
Kadın	50(%75,8)	16(%47,7)	$\chi^2: 9,064$ p: 0,003	52(%78,8)	29(%65,9)	$\chi^2: 2,256$ p: 0,133
Erkek	16(%24,2)	23(%52,3)		14(%21,2)	15(%51,7)	
<b>Yaş grupları</b>						
18-24	28(%72,5)	13(%31,7)	$\chi^2:4,712$ p: 0,095	31(%75,6)	10(%24,4)	$\chi^2:0,446$ p: 0,800
25-34	29(%72,5)	11(%27,5)		30(%75,0)	10(%25,0)	
35-45	14(%48,3)	15(%51,7)		20(%69,0)	9(%31,0)	
<b>Sağlık durumu</b>						
Şeker hastalığı	5(%55,6)	4(%44,4)	$\chi^2: 8,065$ p: 0,233	6(%66,7)	3(%33,3)	$\chi^2: 6,144$ p: 0,407
Böbrek hastalığı	1(%50,0)	1(%50,0)		0(%0,00)	2(%100,0)	
Diş problemleri	5(%55,6)	4(%44,4)		6(%66,7)	3(%33,3)	
Kansızlık	9(%100,0)	0(%0,00)		5(%55,6)	4(%44,4)	
Göz hastalığı	14(%77,8)	4(%22,2)		13(%72,2)	5(%27,8)	
Kalp-damar hastalığı	3(%100,0)	0(%0,00)		3(%100,0)	0(%0,00)	
Yok	44(%73,3)	16(%26,7)		38(%63,3)	22(%36,7)	

Katılımcıların probiyotik gıdaların sağlık etkileri ile ilgili öngörülerini incelendiğinde ise bireylerin %30,4'ü probiyotik gıdaların düzenli tüketiminin bağırsak sisteminin düzenlenmesi ve kolon kanserine karşı koruyucu olduğu konusunda kararsız kalmıştır (Tablo 5). Bilimsel kanıtlar, diyet, yaşam tarzı ve bağırsak mikrobiyotası bileşimindeki değişiklikler ile kolon kanseri arasında güçlü bir ilişki olduğunu göstermektedir. Bağırsak mikrobiyotasının kolon kanseri gelişimini nasıl etkilediği netlik kazanmasa da mikrobiyotadaki dengesizlikler sebebiyle görülen enflamasyonun kolon kanseri görülme riskini arttırdığı bildirilmektedir (Kumar ve ark., 2015).

Katılımcıların %64,3'ü probiyotik gıdaların düzenli tüketiminin bağışıklık sisteminin aktivasyonunda etkili olduğunu belirtmişlerdir (Tablo 5). Probiyotikler, doğal immünite, humoral immünite ve sitokinleri etkileyerek patojenlere karşı immün sistem fonksiyonunu geliştirir (Khani ve ark., 2018). Daha spesifik olarak, laktik asit bakterilerinin en yaygın suşları olan Lactobacilli ve Bifidobacteria türlerinin Th1:Th2 sitokin dengesini düzenlemeye yardımcı olduğu bilinmektedir. Ek olarak, birçok çalışma probiyotiklerin fiziksel bariyer fonksiyonu, mukozal bağışıklık sistemi, metabolizma ve sistemik bağışıklık üzerinde faydalı etkilere sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca, probiyotikler atopik hastalıklar, inflamatuvar barsak hastalıkları, irritabl bağırsak sendromu ve patojen enfeksiyonları gibi çeşitli hastalıkların tedavisinde kullanılmaktadır (Jeong ve ark., 2016).

Katılımcıların %52,7'si probiyotik gıdaların düzenli tüketiminin kolesterolün azaltılması ve kalp-damar hastalıklarına karşı koruyucu olduğu konusunda kararsız kalmışlardır (Tablo 5). Literatürdeki son bulgular bağırsakların mikrobiyal dengesizliğinin kardiyovasküler hastalıkların patogeneğinde rol oynayabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, çeşitli çalışmalar, kardiyovasküler hastalıkların önlenmesi ve/veya tedavisine yönelik bir yaklaşım olarak, bağırsak mikrobiyotasının probiyotiklerle düzenlenmesi yönüne değinmiştir (Thushara ve ark., 2016). Hendijani ve Akrahi'nin (2017) tip 2 diyabetli erişkinlerde kardiyovasküler risk faktörlerinin yönetimi ile probiyotik desteği arasındaki ilişkiyi açıklamayı amaçladıkları meta analiz çalışmasında, toplam 641 kişinin dâhil olduğu 11 randomize kontrollü çalışma incelenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre tip 2 diyabetli hastalarda probiyotik tüketiminin plasebo grubuna kıyasla sistolik ve diyastolik kan basıncını, LDL kolesterol, total kolesterol ve trigliserit seviyelerini anlamlı ölçüde düşürdüğü saptanmıştır (Hendijani ve ark., 2018).

Tablo 5. Probiyotik Gıdaların Sağlık Etkileri ile İlgili Tüketicilerin Öngörülleri

Sağlık Etkileri	Katılıyorum		Katılmıyorum		Kararsızım	
	n	%	n	%	n	%
Bağırsak Sisteminin Düzenlenmesi ve Kolon Kanserine Karşı Koruyucu	69	61,6	6	5,4	34	30,4
Kolesterolün Azalması ve Kalp-damar Hastalıklarına Karşı Koruyucu	46	41,1	5	4,5	59	52,7
Bağıışıklık Sisteminin Aktivasyonunda Etkili	72	64,3	4	3,6	34	30,4

#### 4. Sonuç

Probiyotiklerin sağlık üzerine etkilerini gösteren çalışmaların sayısı her geçen gün artmaktadır. Probiyotiklerin antibiyotik kaynaklı ishallere, atopik hastalıklar ile enflamatuvar barsak hastalıklarındaki tedavi edici etkilerinin yanı sıra tip 2 diyabet, çeşitli kanser türleri, kardiyovasküler hastalıklar gibi kronik hastalıklara karşı koruyucu etkileri olduğu da ortaya çıkarılmıştır. Sağlığı koruyucu ve geliştirici etkileri olan probiyotikler hakkında toplumda var olan bilgi eksikliği bu besinlerin tüketimini de engellemektedir. Toplumun ve bireylerin probiyotik gıdalar hakkındaki bilgi düzeylerinin ve probiyotik gıdaların tüketim sıklıklarının artırılması toplum sağlığının geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır. Bireylerin sıklıkla televizyon, gazete-dergi ve internet yoluyla bilgiye ulaştıkları düşünüldüğünde bu mecralarda konu ile ilgili doğru bilgilerin alanında uzman kişiler tarafından aktarılması büyük önem taşımaktadır.

#### Kaynakça

- Al-Nabulsi, A.A., Obiedat, B., Ali, R., Osaili, M.T., Bawadi, H., Abushelaibi, A., et al.(2014). Knowledge of probiotics and factors affecting their consumption by jordanian college students. *International Journal of Probiotics and Prebiotics*,9(3),77-86.
- Altuntaş, Y., Batman, A. (2017). Mikrobiyotik ve Metabolik Sendrom. *Türk Kardiyol Dern Ars*,45(3),286-296.
- Ambalam, P., Raman, M., Purama, K.R., Doble, M. (2016). Probiotics, prebiotics and colorectal cancer prevention. *Best Pract Res Clin Gastroenterol*,30(1),119-131.
- Anukam, K.C.(2006) Knowledge of probiotics by Nigerian clinicians. *International Journal of Probiotics and Prebiotics*,1(1),57-62.
- Aydın, M., Açıköz, I., Şimşek, B. (2010). Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi öğrencilerinin probiyotik ürün tüketimlerinin ve probiyotik kavramının bilinme düzeyinin belirlenmesi. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*,5(2),1-6.
- Bell, V., Ferrão, J., Fernandes, T. (2017). Nutritional guidelines and fermented food frameworks. *Foods*,6(8),65.
- Bjerg, A.T., Kristensen, M., Ritz, C., Holst, J.J., Rasmussen, C., Leser, T.D., et al. (2014). *Lactobacillus paracasei* subsp *paracasei* L. casei W8 suppresses energy intake acutely. *Appetite*,82,111-118.
- Coşkun, T. (2006). Probiyotikler, prebiyotikler ve sinbiyotikler. *Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Dergisi*, 49(2),128-148.
- Derin, D.Ö., Keskin, S. (2013). Gıda mühendisliği öğrencilerinin probiyotik ürün tüketim durumlarının belirlenmesi: Ege Üniversitesi örneği. *Gıda Dergisi*,38(4),215-222.
- Ejtahed, H.S., Nia, J.M., Rad, A.H., Jafarabadi, M.A., Mofid, V. (2012). Probiotic yogurt improves antioxidant status in type 2 diabetic patients. *Nutrition*,28(5),539-543.
- Ejtahed, H.S., Nia, J.M., Rad, A.H., Niafar, M., Asghari-Jafarabadi, M., Mofid, V., et al.(2011). Effect of probiotic yogurt containing *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium lactis* on lipid profile in individuals with type 2 diabetes mellitus. *J Dairy Sci*, 94(7),3288-3294.
- Gandhi, A., Shah, N.P. (2017). Impact of food unit operations on probiotic microorganisms. In:Sant'Ana AS (Eds). *Quantitative Microbiology in Food Processing* (p.327-338). West Sussex: John Wiley & Sons.
- Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı. Türk Gıda Kodeksi Etiketleme Yönetmeliği. Resmi Gazete; 29.12.2011. 41 s. Rapor No:28157
- Grajek, W., Olejnik, A., Sip, A. (2005). Probiotics, prebiotics and antioxidants as functional foods. *Acta biochimica polonica*,52(3),665-671.
- Hendijani, F., Akbari, V. (2018). Probiotic supplementation for management of cardiovascular risk factors in adults with type II diabetes: A systematic review and meta-analysis. *Clin Nutr.*,37(2),532-541.
- Jeong, H., Lee, C.Y., Chung, D.K.(2016) Probiotic Lactic Acid Bacteria and Skin Health. *Food Science and Nutrition*,56(14),2331-7.

- Johnston, B.C., Supina, A.L., Vohra, S. (2006). Probiotics for pediatric antibiotic-associated diarrhea: a meta-analysis of randomized placebo-controlled trials. *Can Med Assoc J*,175,377–383.
- Khani, A.H., Jazayeri, S.M., Ebrahimi, E., Younesi-Melerdi, E., Farhadi, A.(2018). The Bifidobacterim bifidum (BIB2) Probiotic Increased Immune System Factors in Men Sprint Athletes. *Current Nutrition & Food Science*,14(4),324-328.
- Koçak, H., Kalkan, S. (2014). Üniversite öğrencilerinin probiyotik gıda tüketim alışkanlıklarının belirlenmesi – bahçe meslek yüksekokulu örneği. *DBHAD Uluslararası Hakemli Beslenme Araştırmaları Dergisi*,1(1),27-31.
- Kumar, K.S., Sastry, N., Polaki, H., Mishra, V. (2015). Colon cancer prevention through probiotics: an overview. *Journal of Cancer Science & Therapy*,7(2),81-92.
- Laparra, J.M., Sanz, Y. (2010). Interactions of gut microbiota with functional food components and nutraceuticals. *Pharmacol Res*,61,219–225.
- Liu, D.M., Guo, J., Zeng, X.A., Sun, D.W., Brennan, C.S., Zhou, Q.X., et al. (2017). The probiotic role of *Lactobacillus plantarum* in reducing risks associated with cardiovascular disease. *International Journal of Food Science and Technology*,52(1),127-136.
- McCabe, L., Britton, R.A., Parameswaran, N. (2015). Prebiotic and probiotic regulation of bone health: role of the intestine and its microbiome. *Curr Osteoporos Rep*, 13(6),363-371.
- Milner, J.A. (1999) Functional foods and health promotion. *J. Nutrition*,129(7),1395-1397.
- Nabizadehasl, L. Prebiyotik, probiyotik ve sinbiyotiklerin, kısa ve uzun dönemde tokluk ve besin tüketim üzerine etkisi [Doktora Tezi]. Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara;2018.
- Nazarii, K.N., Conte, C., Cammarota, G., Haley, A.P., Styriak, I., Gaspar, L., et al. (2016). Probiotics in prevention and treatment of obesity: a critical view. *Nutr Metab (Lond)*,13,1-14.
- Saez, M.J., Sanchez, C.R., Ojeda, J.R., Diaz, J.P., Gil, A. (2016). Effects of probiotics and synbiotics on obesity, insulin resistance syndrome, type 2 diabetes and non-alcoholic fatty liver disease: a review of human clinical trials. *Int J Mol Sci*, 17(6),1-15.
- Stanczak, M., Heuberger, R.(2009). Assessment of the knowledge and beliefs regarding probiotic use. *American Journal of Health Education*,40(4),207-211.
- Thushara, R.M., Gangadaran, S., Solati, Z., Moghadasian, M.H.(2016). Cardiovascular benefits of probiotics: a review of experimental and clinical studies. *Food Funct*, 7,632–642.
- Yabancı, N., Şimşek, I. (2007). Üniversite öğrencilerinin probiyotik ürün tüketim durumları. *TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni*,6(6),449-454.
- Yu, A., Li, L.(2016) The potential role of probiotics in cancer prevention and treatment. *Nutr Cancer*,68(4),535-544.



# Elektrik Motorlarının Verimlilik ve CO<sub>2</sub> Emisyon Analizi; Bir Gıda Fabrikası Örneği

Selmin Ener Ruşen<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Akademik Enerji Araştırma Grubu (AKEN), Karaman, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3389-5739)

(İlk Geliş Tarihi 20 Eylül 2019 ve Kabul Tarihi 30 Ekim 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.622573)

**ATIF/REFERENCE:** Ener Ruşen, S. (2019). Elektrik Motorlarının Verimlilik ve CO<sub>2</sub> Emisyon Analizi; Bir Gıda Fabrikası Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 564-569.

## Öz

Dünya enerji arzının büyük bir kısmı fosil kaynaklı yakıtlar ile karşılanmakta ve tüm dünyada artan enerji ihtiyacı nedeniyle fosil kaynaklı yakıt talebi gün geçtikçe artmaktadır. Bu enerji ihtiyacının önemli bir kısmı elektrik tüketimi olarak sanayide kullanılmaktadır. Ülkemizde, sanayide kullanılan elektriğin ise yaklaşık 2/3'ünü endüstriyel cihaz ve ekipmanların vazgeçilmez unsuru olan elektrik motorları tarafından tüketilmektedir. Bu nedenle, sanayide kullanılan elektrik motorlarının sınıflandırılması, yapılan işe göre verimlerinin takibi, verimsiz motorların teknolojik gelişmelere göre enerji verimli motorlar ile değiştirilmesi yoluyla yapılacak enerji tasarrufu Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılığının azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, bir gıda fabrikasının üretim hattında kullanılan elektrik motorları motor gücü, güç faktörü, çalışma süresi, motor verimi ve yıllık enerji tüketim miktarları dikkate alınarak sınıflandırılmıştır. Alınan veriler işletmenin çalışma şartları göz önünde bulundurularak değerlendirilmiş ve verimlilikleri düşük olan mevcut elektrik motorları yerine daha verimli motorların kullanılması durumunda elde edilebilecek tasarruf miktarı hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre bu enerji verimliliği uygulaması için basit geri ödeme süresinin 1,5 yıldan daha kısa olacağı hesaplanmıştır. Ayrıca mevcut ve önerilen elektrik motorlarının CO<sub>2</sub> emisyon miktarları analiz edilmiştir. Verimlilik sınıfı yüksek elektrik motorlarının kullanılması durumunda %12,15 oranında CO<sub>2</sub> salınımının azalacağı ve çevreye olan zararlı gaz salınımının düşeceği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji Verimliliği, Elektrik Motoru, CO<sub>2</sub> salınımı, Karaman.

## Analysis of Efficiency and CO<sub>2</sub> Emission for Electric Motors; Example of a Food Factory

### Abstract

Most of the world energy supply is met by fossil fuels, and the demand for fossil fuels is increasing day by day due to the increasing energy demand in the world. A significant portion of this energy need is used in industry as electricity consumption. In our country, about 2/3 of the electricity used in industry is consumed by electric motors which are indispensable elements of industrial devices and equipments. Therefore, electric motors used in industry are classified and the inefficient engines should be replaced with energy efficient motors. By this way, energy saving could be achieved in terms of reduction of external dependence on Turkey's energy. In this study, the electric motors used in the production line of a food factory are classified by taking into consideration the motor power, power

\* Sorumlu Yazar: Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Akademik Enerji Araştırma Grubu (AKEN), Karaman, Türkiye, ORCID: 0000-0003-3389-5739, [selmin.enerrusen@gmail.com](mailto:selmin.enerrusen@gmail.com)



factor, working time, motor efficiency and annual energy consumption. The data obtained were evaluated by considering the operating conditions of the enterprise and the saving amount which could be obtained in case of using more efficient motors instead of the existing electric motors with low efficiency was calculated. According to the results, it was calculated that the simple payback period for this energy efficiency application would be shorter than 1.5 years. In addition, the CO<sub>2</sub> emissions of current and recommended electric motors have been analyzed. In the case of the use of high efficiency electric motors, it is determined that CO<sub>2</sub> emission will be decreased by 12.15% and the emission of harmful gas to the environment will decrease.

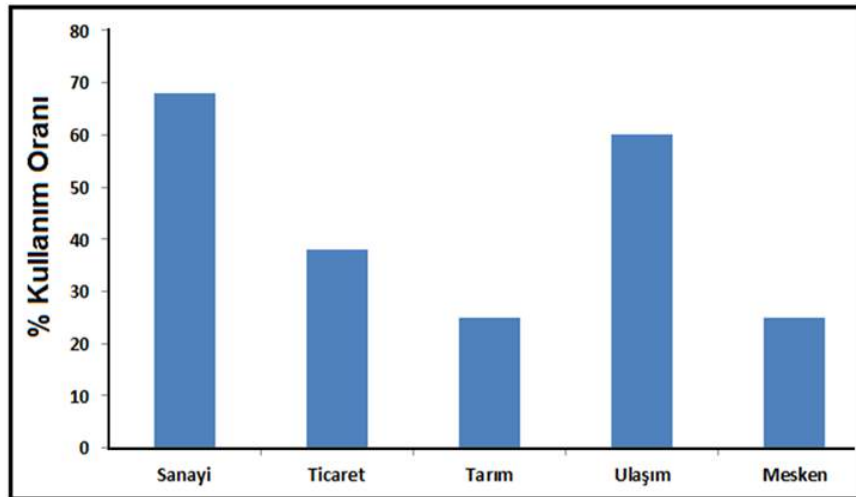
**Keywords:** Energy Efficiency, Electric Motor, CO<sub>2</sub> Emission, Karaman.

## 1. Giriş

Enerji hem endüstri hem de insan yaşamı için vazgeçilmez bir güç haline gelmiştir, bu sebeple dünya enerji arzı gün geçtikçe artmaktadır. Ancak rezervlerde buna paralel olarak bir artış gözlenmemektedir. Bunun yanı sıra, yapılan hesaplamalar tüketim talebi artış göstermese dahi rezervlerin tükeneceğini belirtmektedir (Haydaroglu, 2006). Dünyamızdaki fosil yakıt kaynaklarının sınırlı olması ve üretim maliyetlerinin giderek yükselmesi nedeniyle yeni enerji kaynakları arayışının yanında var olan enerjinin de verimli kullanılması gerekli hale gelmiştir. Aşırı enerji tüketiminin hava kirliliği, küresel iklim değişikliği, asit yağmuru ve solunum yolu hastalıkları gibi olumsuz etkilere yol açtığı bilinmektedir. Bu nedenlerle birlikte, enerji maliyetlerinin artması ve özellikle sera gazı emisyonlarının azaltılması yönünde çevre bilincinin artması nedeniyle enerji verimliliği uygulamaları daha önemli hale gelmiştir (Ener Ruşen ve ark., 2018a).

Enerji; ülkelerin ekonomik girdilerinde önemli bir yer tutmakta ve dünya siyaset politikasını önemli oranda etkilemesinin dışında iklim değişikliğinde de önemli etkilere sebep olduğundan ekonomik, sosyal ve coğrafik olarak da dünya düzeninin etkin belirleyicisi konumundadır (Herring, 2000; TMMOB, 2012). Uluslararası Enerji Ajansı'ndan (IEA) elde edilen veriler 1970-2016 yılları arasında dünya enerji tüketimindeki artışın yaklaşık 2 katına çıktığını göstermiştir. Buna paralel olarak, son 12 yılda ülkemizdeki elektrik enerjisi tüketimi de ikiye katlanmıştır (IEA, 2016). Yapılan çalışmalarda, enerji tüketiminin genel olarak artmasıyla birlikte fosil kaynak tüketimi ve atmosfere salınan karbondioksit (CO<sub>2</sub>) miktarının da önemli oranda arttığı ve oluşan sera etkisinin dünya genelinde iklim değişikliklerine sebep olduğu belirtilmiştir (Brannlund ve ark., 2007; Esen, 2015).

21. yüzyılda yaşanan teknolojik gelişmeler ile birlikte insan yaşamı daha konforlu hale gelmiş ve bununla birlikte enerji tüketimi de artış göstermiştir. Ayrıca, dünya nüfusunun artışı da enerji tüketimi üzerinde önemli etkisi olan parametrelerdendir (Perez-Lombard ve ark., 2007; Doğan & Yılankırkan, 2015). Bu teknolojik gelişmeler madencilik, metal, kimya, kâğıt, gıda vb. farklı sanayi sektörlerindeki endüstriyel uygulamaların dünya çapında yaygınlaşmasını tetiklemiş ve buna bağlı olarak sanayi sektörlerindeki enerji tüketimini arttırmıştır. Sanayideki enerji tüketiminin toplam enerji tüketimi içinde % 37'sinden ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının % 36'sından sorumlu olduğu bilinmektedir (Ener Ruşen ve ark., 2018b). Sanayide kullanılan elektriğin ise yaklaşık 2/3'ü elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürmek için önemli bir role sahip olan elektrik motorları tarafından tüketilmektedir. Dünya genelinde sektörel bazda elektrik motorlarının kullanım oranları Şekil 1'de verilmiştir. Böylesine yüksek elektrik tüketimi nedeniyle, ülkeler yüksek enerji verimli elektrik motorları üzerine çalışmalar yapmakta ve projeler geliştirerek elektrik motorları kullanımında enerji tasarrufu sağlamayı amaçlamaktadırlar (TMMOB Makina Mühendisleri Odası, 2012; Cagno ve ark., 2019; Triannia ve ark., 2019).



Şekil 1. Elektrik motorlarının sektörlere göre enerji kullanım oranları (Waide & Brunner, 2011)

Özellikle pompa, fan ve kompresörlerde olmak üzere birçok endüstriyel cihaz ve ekipmanlarda elektrik motorları farklı tip ve kapasitelerde sıklıkla kullanılmaktadır. Güç üretmek için elektrik enerjisi kullanmakta olan motorun ürettiği mekanik gücün, şebeke veya sistemden çekilen elektrik enerjisine oranı motor verimi olarak tanımlanmaktadır. Günümüzde kullanılan elektrik motorlarının % 90'ını asenkron motorlardır, bu sebeple sanayide asenkron motorların kayıplarının azaltılarak yüksek verime sahip motorlar kullanılması önem arz etmektedir (Ener Ruşen ve ark., 2018b). Asenkron motorlarda meydana gelen temel kayıp güçler; i) Sürtünme ve rüzgâr kayıpları, ii) Demir kayıpları, iii) Stator iletken (bakır) kayıpları, iv) Rotor iletken (alüminyum) kayıpları, v) Ek kayıplardır (Bodur, e-ISSN: 2148-2683

2011). Bu motorların kayıplarının tahmini ve verimlilikleri hakkında güncel çalışmalar mevcuttur (Santos ve ark., 2019; Chuang ve ark., 2019).

Avrupa Elektrik Makineleri Üreticileri Komitesi'ne (CEMEP) göre elektrik motorlarını verimlilikleri açısından EFF1 (en yüksek verimli motorlar), EFF2 (verimlilikleri artırılmış motorlar) ve EFF3 (verimlilikleri düşük motorlar) olmak üzere 3 sınıfa ayırmak mümkündür (T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2015). Bu motorlar kullanım alanlarına göre şu şekilde seçilirler;

- EFF1 Sınıfı: sürekli çalışan fan, pompa gibi uygulamalar için
- EFF2 Sınıfı: sık kullanımı olan makine-ekipman uygulamalarında,
- EFF3 Sınıfı: seyrek kullanılan ya da gerektiğinde devreye alınan makine uygulamalarında, tercih edilebilir (Bodur, 2011).

Bu çalışmada, Karaman ilinde bulunan bir hazır gıda fabrikasında elektrik enerjisinin tüketiminde çok önemli bir paya sahip olan elektrik motorlarının verimlilik sınıfları incelenmiştir. EFF3 sınıfı motorların çoğunlukta olduğu tespit edilmiştir. EFF3 sınıf motorların yüksek verimli EFF1 sınıf elektrik motorları ile değiştirilmesi durumunda tüketilen enerji farkı, buna bağlı olarak elde edilecek tasarruf miktarı ve yaklaşık yatırım maliyeti ile geri ödeme süresi hesaplamaları yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Sanayide kullanılan elektrik motorlarında ve uygulamalarında verimlilik sağlayarak enerji tasarrufu elde etmenin temel yolları olarak aşağıdaki seçenekler sıklıkla önerilmektedir (Bodur, 2011);

1. Yüksek verimli motor kullanmak: EFF3 olarak adlandırılan düşük verim sınıfı motorlar yerine, EFF1 yüksek verimli veya EFF2 verimi iyileştirilmiş olarak adlandırılan motorlar kullanarak enerji tasarrufu sağlamak bilinen en yaygın yöntemdir.

2. Doğru motor seçimi: Kullanım yeri ve motorun mekanik gücünün doğru kullanıldığından emin olunması gerekir. İşletmelerin kurulumu sırasında gelecekte iş kapasitesinin arttırılabileceği düşüncesiyle ihtiyacından daha yüksek güce sahip motorların alınması hem yatırım maliyetini arttırmakta hem de daha yüksek güç/enerji harcanmasına sebep olmaktadır.

3. Enerji tasarrufu fizibilitesi: İşletme içerisinde kullanılan motorların termal kamera ve enerji analizörü ile sürekli takibinin yapılması ve bakımlarının aksatılmaması, gerekli görüldüğü durumlarda enerji fizibilitesi yapılarak düşük verimli motorların yüksek verimli olanlar ile değiştirilmesi gerekir.

4. Değişken Hızlı AC motor sürücülerini kullanmak: Asenkron motorun besleme kaynağının istenilen hızda dönmesi sağlayan bir elektronik sürücü devresi kullanılarak motorun hız kontrolü sağlanabilmektedir. Böylece elektrik motorları ile yapılacak işlemin üretkenliği ve verimliliği artırılmış olacaktır.

5. Motoru besleyen Elektrik Enerjisi Kalitesi: Motora gereken gerilim değerini doğru vermek, aşırı yüksek ve düşük gerilim vermemek, Elektrik tesisatının gereken yeterlilikte olmasını sağlamak (Uzun hatlar, motor yük değişiminden gerilim dalgalanması, yanlış hat kesiti)

Fosil kaynaklı yakıtların yanması sonucunda açığa çıkan CO<sub>2</sub> temel sera gazı olarak kabul edilmektedir. CO<sub>2</sub> salınımının artmasıyla beraber atmosferde ısı geçişleri artmaktadır. İncelenen işletmede elektrik motorlarının düşük verim sınıfı motorlar olduğu tespit edilmiştir. Bu motorların kullanılması sonucunda oluşacak CO<sub>2</sub> emisyonu ve yerine kullanılması önerilen yüksek verim sınıfı motorların kullanılması sonucunda oluşacak CO<sub>2</sub> emisyonu hesaplanmıştır. Elektrik enerjisinin tüketilmesi sonucunda her kWh elektrik başına IPCC-Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli'nde (Intergovernmental Panel on Climate Change) 0.5 ile 0.6 arası bir çarpan değeri belirlemiştir. Hesaplamamızda ortalama olması açısından 0.55 değeri kullanılmıştır ) (Pabuçcu ve Bayramoğlu, 2016,

Özbudak,2011). İşletmede yer alan motorların özellikleri, adetleri, motor verimleri, tükettikleri enerji değerleri ve yıllık CO<sub>2</sub> salınım değerleri hesaplanarak Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. İşletmedeki verimlilik değeri düşük (EFF3) olan elektrik motorlarının sayısı ve özellikleri (Ener Ruşen & Koç, 2018)

Motor Adeti	Motor Gücü (kW)	Güç Faktörü (cosφ)	Çalışma Süresi (Saat/Yıl)	EFF3 Motor Verimi	Yıllık Enerji Tüketimi (kW/Yıl)	CO <sub>2</sub> Salınımı (Ton/yıl)
70	1,1	0,75	7 200	0,67	620 597,01	341,33
110	1,5	0,75	7 200	0,73	1 220 547,94	671,30
50	3	0,75	7 200	0,74	1 094 594,59	602,03
40	4	0,75	7 200	0,79	1 093 670,88	601,52
15	5,5	0,75	7 200	0,83	536 746,98	295,21
8	7,5	0,75	7 200	0,81	400 000,00	220,00
<b>Toplam Tüketilen Elektrik Enerjisi</b>					<b>4 966 156,80</b>	<b>2 731,39</b>

Bu bilgiler ışığı altında, bu çalışmada, Karaman organize sanayi bölgesinde hazır gıda üretimi üzerine faaliyet göstermekte olan işletmenin üretim hattında kullanılan verimlilik değeri düşük (EFF3) elektrik motorlarının EFF1 tipi yüksek verimli motorlar ile değiştirilmesiyle motorlarda oluşacak kayıpların azaltılarak yüksek enerji tasarrufu yapılması amaçlanmıştır. Bu sebeple, işletmenin farklı birimlerinde yer alan ve değişik etiket değerlerine sahip verimlilik değeri düşük (EFF3) olan elektrik motorlarının tam yükteki durumları incelenmiştir. Hesaplanan değerler Tablo 1’de sunulmuştur.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada, verimlilik sınıfı EFF3 olan verimsiz motorların teknolojik gelişmeler neticesinde ulaşılmış yüksek enerji verimli motorlar (EFF1 sınıfı) ile değiştirilmesi durumu incelenmiştir. Avrupa Elektrik Makineleri Üreticileri Komitesi’ne (CEMEP) (T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2015) göre asenkron motor verimliliklerinde motor çıkış gücüne göre verim oranı 0,83 ile 0,95 arasında değişmektedir. İşletmede yer alan EFF3 tip motorların sahip olduğu çıkış gücü değişimine göre önerilen EFF1 elektrik motorlarının özellikleri ve yıllık CO<sub>2</sub> salınım miktarları Tablo 2’de verilmiştir

Tablo 2. Değişim için önerilen verimlilik sınıfı yüksek (EFF1) elektrik motorlarının özellikleri

Motor Adeti	Motor Gücü (kW)	Güç Faktörü (cosφ)	Çalışma Süresi (Saat/Yıl)	EFF1 Motor Verimi	Yıllık Enerji Tüketimi (kW/Yıl)	CO <sub>2</sub> Salınımı (Ton/yıl)
70	1,1	0,75	7 200	0,83	500 963,85	275,53
110	1,5	0,75	7 200	0,84	1 060 714,28	583,39
50	3	0,75	7 200	0,86	941 860,46	518,02
40	4	0,75	7 200	0,87	993 103,45	546,21
15	5,5	0,75	7 200	0,88	506 250,00	278,44
8	7,5	0,75	7 200	0,90	360 00,00	198,00
<b>Toplam Tüketilen Elektrik Enerjisi</b>					<b>4 362 892,04</b>	<b>2 399,59</b>

Tablo 1’de sunulan sonuçlardan anlaşılacağı üzere işletmedeki mevcut EFF3 sınıfı elektrik motorlarının yıllık elektrik tüketimi toplamı 4 966 156,80 kW ‘tır. Çalışma kapsamında bu motorların yerine verimleri motor çıkış gücüne göre 0,90’a kadar ulaşan EFF1 sınıfı verimli motorların kullanılması önerilmiştir. Aynı motor gücü, güç faktörü ve aynı saat çalışma süresine sahip olan EFF1 sınıfı verimli motorların kullanılması durumunda yıllık toplam elektrik tüketimi 4 362 892,04 kW’ olarak hesaplanmıştır (Tablo 2).

Bu iki durum arasındaki Enerji Tüketim (ET) farkı;

$$(ETE_{FF3}) - (ETE_{FF1}) = (4\ 966\ 156,80\ \text{kW}) - (4\ 362\ 892,04\ \text{kW}) = 603\ 264,76\ \text{kW} \quad (1)$$

Karaman organize sanayi bölgesinde elektrik birim fiyatı 0,33 TL/ kWh olarak alınmaktadır. Bu durumda elektrik enerjisinden elde edilecek tasarruf miktarı:

$$\text{Tasarruf Miktarı} = (603\ 264,76\ \text{kW}) * (0,33\ \text{TL/ kWh}) = 199\ 077,33\ \text{TL} \quad (2)$$

olarak bulunmuştur (1 \$ = 4.8357 TL). Fabrikadaki mevcut EFF3 sınıfı elektrik motorlarının EFF1 sınıfı motorlar ile değiştirilmesi durumunda toplam motor maliyeti belirlenerek geri ödeme süresini denklem 3 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\text{Geri ödeme süresi} = \text{Masraf} / \text{Kazanç} \quad (3)$$

Bu durumda EFF1 sınıfı elektrik motorları kullanılması durumunda önerilen elektrik motorları Tablo 3’te verilmektedir.

Tablo 3. Değişim için önerilen EFF1 tipi elektrik motorlarının maliyetleri

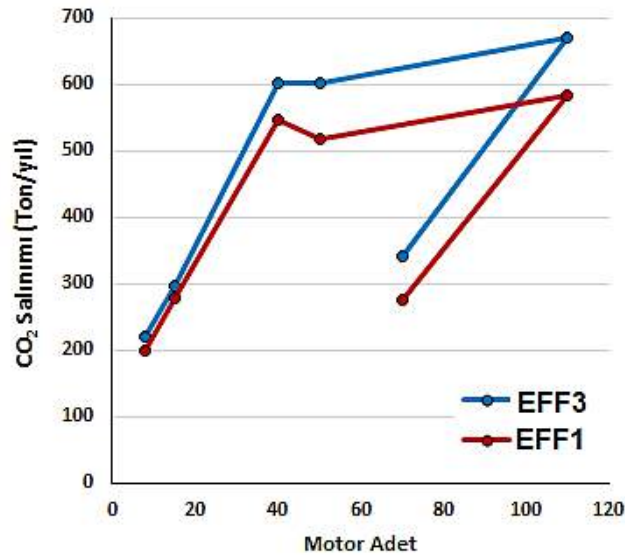
Motor Adeti	Motor Gücü (kW)	EFF1 Motor Maliyeti (TL/Adet)	EFF1 Motor Maliyeti (Toplam)
70	1,1	650,00	45 500,00
110	1,5	710,00	78 100,00
50	3	960,00	48 000,00
40	4	1050,00	42 000,00
15	5,5	1100,00	16 500,00
8	7,5	1250,00	10 000,00
<b>Toplam FFE1 motor yatırım maliyeti</b>			<b>240 100,00</b>

Ayrıca, işçilik maliyetleri ile beraber yaklaşık toplam yatırım maliyetininin 262 100,00 TL olarak kabul edilmesi durumunda basit geri ödeme süresi yaklaşık olarak 1,3 yıl olarak bulunmuştur;

$$\text{Basit Geri Ödeme Süresi} = 262\ 100,00 / 199\ 077,33 = 1,32 \text{ yıl}$$

Elektrik motorlarında yatırımın kendini amorti edebilmesi için elektrik motorunun gün içerisindeki kullanım süresi oldukça önem arz etmektedir. Bu çalışma kapsamında incelenen gıda fabrikasında 24 saat kesintisiz üretim yapıldığından elektrik motorları için yıllık 7200 saat çalışma durumu baz alınmıştır. Ancak, kısa süreli çalışma yapılan herhangi bir proseste verimli motor (EFF1) kullanılsa bile bunun sağlayacağı fayda (tasarruf) düşük kalacağından motorun kendini amorti etmesi süresi çok uzun olacaktır. Bu durumda, yatırım maliyetleri göz önüne alınarak hesaplanacak olan basit geri ödeme süresine bakılmalıdır. Basit geri ödeme süresinin 5 yıldan uzun olduğu durumlar çoğunlukla tercih edilmemektedir.

Ayrıca işletmede önerilen EFF1 sınıfı verimli motorların kullanılması durumu ile hâlihazırda var olan EFF3 sınıfı verimsiz motorların kullanılması durumu CO<sub>2</sub> salınımı miktarları hesaplanarak karşılaştırılmıştır (Şekil 2). Şekil 2’de EFF3 sınıfı verimsiz motorların yerine aynı motor gücü, güç faktörü ve aynı saat çalışma süresine sahip olan EFF1 sınıfı verimli elektrik motorlarının kullanılması durumunda oluşacak CO<sub>2</sub> salınımı miktarlarının motor sayısı arttıkça daha fazla oranda azaldığı gözlenmiştir. Yıllık toplam CO<sub>2</sub> salınımı miktarları önerilen EFF1 motorlarda 2399,59 Ton/yıl ve hâlihazırda kullanılan EFF3 sınıfı verimsiz motorlarda ise 2731,38 Ton/yıl olarak hesaplanmıştır. Buna göre EFF1 sınıfı verimli elektrik motorlarının kullanılması durumunda bu gıda fabrikasında %12,15 oranında CO<sub>2</sub> salınımının azalacağı ve çevreye olan zararlı gaz salınımının düşeceği belirlenmiştir.



Şekil 2. EFF1 sınıfı verimli motor EFF3 sınıfı verimsiz motorların kullanılması durumu CO<sub>2</sub> salınımı miktarları

#### 4. Sonuç

Ülkemizin hem hızla büyüyen hem de nüfusu hızla artan bir ülke olduğu dikkate alındığında konut ve sanayi sektöründe her geçen gün enerji talebinin ciddi bir şekilde artış göstereceği aşikârdır. Bu enerji artışındaki talebi karşılamak için yeni enerji kaynaklarının arayışıyla birlikte mevcut kaynakların planlı bir şekilde kullanılması önem arz etmektedir. Bu sebeple, var olan enerji kaynakları en verimli şekilde kullanılarak ülkemiz enerji kaynaklarının daha uzun yıllar kullanılabilmesine olanak sağlanmalıdır. Sanayi sektöründe yoğun olarak kullanılan elektrik enerjisinin iletim ve dağıtımından elektrik motorları gibi kullanıldığı cihaz ve ekipmanlara kadar tüm enerji kayıpları ilgili ölçüm cihazları ile tespit edilerek olası kayıplar için gerekli önlemler alınmalıdır. Bu şekilde elektriksel kayıplardan ciddi oranlarda enerji tasarrufları elde edilmiş olur. Ayrıca, insanlığın geleceği ve refahı için en önemli noktalardan biri olan enerji verimliliği bilinci millî bir politika olarak hayatın her alanına yerleşmelidir. Bunun için enerji verimliliği konusunda nitelikli personel sayısının artırılarak toplumun her kesimde bu bilincin oluşması sağlanmalıdır.

Bu çalışmada, Karaman organize sanayi bölgesinde faaliyet gösteren bir hazır gıda üretim fabrikasının bir ünite üretim hattında kullanılan elektrik motorlarının verimlilik sınıfları ve CO<sub>2</sub> salınım miktarları incelenmiştir. Fabrikada kullanılan elektrik motorlarının sayısı, motor gücü, güç faktörü, çalışma süresi, motor verimi ve yıllık enerji tüketimi açısından değerlendirilmiş ve sınıflandırılmıştır. Verimleri düşük mevcut elektrik motorları yerine önerilmekte olan verimli motorların kullanılması durumunda elde edilecek tasarruf miktarı hesaplanmıştır.

Sonuç olarak, yapılan hesaplamalara göre, fabrikada bulunan EFF3 sınıfı verimsiz elektrik motorlar ile EFF1 sınıfı verimli elektrik motorların değiştirilmesi durumunda tesis elektrik enerjisinden yıllık 200.000 TL'ye varan bir tasarruf sağlamış olacaktır. Hesaplamalar

sonucunda bu değişimin geri ödeme süresi yaklaşık olarak 1,32 yıl olarak bulunmuştur. Yapılacak olan bu enerji tasarrufu aynı zamanda tesisin CO<sub>2</sub> salınımının da ciddi miktarda azalmasını sağlamaktadır. İşletmede hâlihazırda kullanılan EFF3 sınıfı verimsiz motorların yerine aynı motor gücü, güç faktörü ve aynı saat çalışma süresine sahip olan EFF1 sınıfı verimli elektrik motorlarının kullanılması önerilerek oluşan CO<sub>2</sub> salınımı miktarlarının %12,15 oranında azaldığı hesaplanmıştır.

## Teşekkür

Bu çalışma için gereken ölçüm cihazlarını sağlayan Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi'ne teşekkür ederiz. Ayrıca bu çalışmada yapmış oldukları yorum ve katkılarından dolayı Arş. Gör. Seyit Alperen ÇELTEK'e, öğrencim Mücahid KOÇ'a ve çalışmada kullanılan enerji verilerinin temini ile hesaplamaların yapılması aşamasında verdiği destekten dolayı Karaman'da bulunan gıda firması yetkililerine teşekkür ederiz. Bu çalışmasının yapıldığı gıda işletmesi isim verilerek teşekkür edilmesine ve çalışma kapsamında isminin kullanılmasına müsaade etmemiştir. Ayrıca bu çalışmanın küçük bir bölümü 23-25 Kasım 2018 tarihinde düzenlenen Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi'nde Tam metin bildiri olarak yer almıştır.

## Kaynakça

- Brannlund, R., Ghalwash, T., Nordström, J. (2007). Increased Energy Efficiency and The Rebound Effect: Effects on Consumption and Emission. *Energy Economics* 2007, 29, 1-17.
- Bodur, F. (2011). [http://www.emo.org.tr/ekler/8064e39c9540f7e\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/8064e39c9540f7e_ek.pdf) (Erişim Tarihi: 11.10.2018)
- Cagno, E., Davide, A., Andrea, T. (2019). A Framework to Characterize Factors Affecting the Adoption of Energy Efficiency Measures Within Electric Motors Systems. *Energy Procedia*, 158, 3352–3357.
- Chuang, H.C., Li, G.D., Lee, G.T. (2019). The efficiency improvement of AC induction motor with constantfrequency technology. *Energy*, 174, 805-8013.
- Doğan, H., Yılankırkan, N. (2015). Türkiye'nin Enerji Verimliliği Potansiyeli ve Projeksiyonu. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 3, 1, 375-383.
- Ener Ruşen, S., Koç, M. (2018). Bir Fabrikada Elektrik Motorlarının Verimlilik Sınıflarının İncelenmesi. *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi (IMASCON-2018), Bildiriler Kitabı, Kocaeli, Türkiye*, 630-632.
- Ener Ruşen, S., Topçu, M.A., Karanfil, G., Çeltek, S.A., Ruşen, A. (2018a). Üniversite Kampüs Binaları için Enerji Etüdü: Örnek Çalışma, *Çukurova Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33, 2, 83-92.
- Ener Ruşen, S., Topçu, M.A., Çeltek, S.A., Karanfil, G., Ruşen, A., (2018b). Investigation of energy saving potentials of a food factory by energy audit, *Journal of Engineering Research and Applied Science*, 7, 1, 848-860.
- Esen, G.K. (2015). Türkiye ve Dünyada Elektrik Motorları Enerji Tüketimi ve İlgili Mevzuat. [http://www.emo.org.tr/ekler/364734147179187\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/364734147179187_ek.pdf) (Erişim Tarihi: 13.10.2018).
- Haydaroğlu, C., 2006. Türk Sanayinde Enerji Verimliliği ve Yoğunluğunun Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir.
- Herring, H. (2000). Is Energy Efficiency Environmentally Friendly?, *Energy & Environment* 11, 3, 313-325.
- IEA. (2016). *Energy Policies of IEA Countries: Turkey*, Paris: International Energy Agency.
- Özbudak, A. (2011). Endüstriyel Fırınlarda Enerji Etüdü Çalışması. Türkiye Makine Mühendisleri Odası.
- Perez-Lombard, L., Ortiz, J., Pout, C. (2007). A Review on Buildings Energy Consumption Information. *Energy and Buildings* 3, 2008, 40, 394-398.
- Santos, V.S., Cabello Eras, J.J., Gutierrez, A.S., Cabello Ulloa, M.J. (2019). Assessment of the energy efficiency estimation methods on inductionmotors considering real-time monitoring. *Measurement*, 136, 237-247.
- Pabuççu H., Bayramoğlu, T. (2016). Yapay Sinir Ağları ile CO<sub>2</sub> Emisyonu Tahmini: Türkiye Örneği. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 18(3), 762–778.
- T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı 2015. Elektrik Motorlarında Enerji Verimliliği. Ankara: T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Verimlilik Genel Müdürlüğü.
- Triannia, A., Cagnob, E., Accordini, D. (2019). A review of Energy Efficiency Measures Within Electric Motors Systems. *Energy Procedia*, 158, 3346–335.
- TMMOB Makina Mühendisleri Odası. (2012). Dünyada ve Türkiye'de Enerji Verimliliği, Ankara. [http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/fa34c3c2eb9b729\\_ek.pdf](http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/fa34c3c2eb9b729_ek.pdf) (Erişim Tarihi: 13.10.2018).
- Waide, P., Brunner, C. (2011). *Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems*, IEA Energy Papers, No. 2011/07, OECD Publishing, Paris.





# Çocukların Meyve ve Sebze Tüketim Alışkanlığının Sosyoekonomik Durum İle İlişkisinin İncelenmesi

Dilek Arduzlar Kağan<sup>1\*</sup>, Ecnur Özkul<sup>2</sup>, Can Ergün<sup>3</sup>, Aylin Sam<sup>4</sup>, Nilüfer Şen<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Bahçeşehir Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye, (<https://orcid.org/0000-0001-8688-9039>)

<sup>2</sup>Bahçeşehir Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (<https://orcid.org/0000-0002-2651-0135>)

<sup>3</sup>Bahçeşehir Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (<https://orcid.org/0000-0001-5139-4407>)

<sup>4</sup>Bahçeşehir Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (<https://orcid.org/0000-0001-8538-1022>)

<sup>5</sup>Bahçeşehir Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (<https://orcid.org/0000-0002-6525-8841>)

(İlk Geliş Tarihi 5 Ağustos 2019 ve Kabul Tarihi 1 Kasım 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.601896)

**ATIF/REFERENCE:** Arduzlar Kağan, D., Özkul, E., Ergün, C., Sam, A. & Şen, N. (2019). Çocukların Meyve ve Sebze Tüketim Alışkanlığının Sosyoekonomik Durum İle İlişkisinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 570-580.

## Öz

Beslenme alışkanlıkları çevresel faktörler içerisinde çocukluk çağı obezitesine sebep olan en önemli etkenlerden birisidir. Yaşam boyu sürdürülen alışkanlıkların kazanıldığı bu dönemde doğru beslenme alışkanlıklarının kazanılması, ailenin beslenme bilgisi, tutumu, davranışları ve alım gücüyle doğrudan ilişkilidir. Meyve ve sebze tüketimi de doğru beslenme alışkanlıkları kazanılmasında anahtar rol oynayıcı faktörlerdendir. Bu çalışma; çocukluk çağında, meyve-sebze tüketim alışkanlığının incelenmesi ve değişen sosyoekonomik statünün bu alışkanlığa olan etkisinin incelenmesi amacıyla araştırmacılar tarafından hazırlanan ve 2 bölümden oluşan anket formu kullanılarak 7-14 yaş arası 190 gönüllü katılımcı ile yürütülmüştür. Anket formunun ilk bölümünde bireylerin ve ebeveynlerinin sosyodemografik verilerini sorgulayan 9 adet soru bulunmaktadır. İkinci bölümde ise, katılımcıların meyve ve sebze tüketim sıklıkları, tüketim şekilleri ve sevilen meyve ve sebzeler sorgulanmıştır. Katılımcıların 7-11 yaş aralığında bulunan %46,3'sü her gün, %24,1'i haftada 3 gün sebze tükettiklerini belirtmiştir. Katılımcılardan 11-14 yaş grubunda olanların ise %33,3'ü haftada 3 gün, %24,8'i ise her gün sebze tükettiklerini belirtmiştir. Sebze tüketim sıklığı ile aylık gelir düzeyi arasında ise anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir ( $\chi^2=17,21$ ,  $p<0.05$ ). Gelir düzeyi daha düşük olan katılımcıların daha sık sebze tüketme eğiliminde oldukları anlaşılmıştır. Meyve tüketimi ile gelir durumu arasında ise anlamlı bir ilişki bulunamamıştır ( $p>0.05$ ). Anne eğitim düzeyi incelendiğinde ise, ortaokul ve üzerine doğru ilerledikçe meyve sebze tüketim oranlarında yüzdesel artış saptanmıştır. Düşük ve orta sosyoekonomik (OSED) düzeye göre sebze tüketimi sırasıyla; çiğ (DSED: %80,6, OSED: %77,6), yağda kızartılmış şekilde (DSES: %49,3, OSED: %40,8), yüksek sosyoekonomik düzeydeki katılımcılarda ise; pişmiş soğuk yemek şeklinde (%63,8), çiğ (%55,3) olarak tüketildiği gözlenmiştir. Sağlıklı besinlerin doğru miktar ve şekillerde tüketilebilmesi için farklı ekonomik düzeylere uygun alternatifler yaratılarak verilecek beslenme eğitimleri çocuklarının sağlıklı beslenme alışkanlıkları kazanması için önemli bir adım olacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Meyve ve sebze, Beslenme alışkanlığı, Sosyoekonomik düzey

## Investigation of the Relationship between Fruit and Vegetable Consumption Habits of Children with Socioeconomic Situation

### Abstract

Nutritional habits are among the most important causes of childhood obesity in environmental factors. Lifelong acquisition of right eating habits maintained at the time of the gain of habits, family nutrition knowledge, attitudes, and behaviors are directly related to the purchasing power. Fruit and vegetable consumption is also a key factor in acquiring proper eating habits. This study; was conducted with 190 volunteer participants aged 7-14 using a 2-part questionnaire prepared by the researchers in order to investigate the consumption of fruit and vegetables in childhood and to examine the effect of changing socioeconomic status on this habit. In the first part of the questionnaire, there are 9 questions that question the sociodemographic data of individuals and their parents. In the second part, the frequency of consumption of fruits and vegetables, consumption patterns of the participants and the favorite fruits and

vegetables were questioned. Participants' who in the 7-11 age range 46.3% stated that they consume vegetables every day and 24.1% of them consume 3 days a week. 33.3% of the participants in the 11-14 age group stated that they consume vegetables 3 days a week and 24.8% every day. A significant relationship was found between the frequency of vegetable consumption and monthly income level. A significant correlation was found between the frequency of vegetable consumption and monthly income ( $\chi^2 = 17.21, p < 0.05$ ). Participants with lower income levels tend to consume vegetables more frequently. There was no significant relationship between fruit consumption and income ( $p > 0.05$ ). When the education level of the mother was examined, it was found that the percentage of fruit and vegetable consumption increased as it progressed towards middle school and high up. Vegetable consumption according to low and middle socioeconomic (MSEL) levels were as follows; raw (LSEL: 80.6%, MSEL: 77.6%), fried in oil (LSEL: 49.3%, MSEL: 40.8%), high socioeconomic level participants; It was observed that it was consumed in the form of cooked cold food (63.8%) and raw (55.3%). Nutritional trainings will be an important step for children to gain healthy eating habits by creating alternatives suitable for different economic levels in order to consume healthy foods in the right amount and forms.

**Keywords:** Fruits and vegetables, Nutritional habits, Socioeconomic level

## 1. Giriş

Çocukluk çağı obezitesi gittikçe daha öncelikli bir halk sağlığı sorunu haline gelmektedir (Beaglehole vd. 2011). Çocukluk çağı obezitesi prevalansı ise klinik ve ekonomik sebeplerle dünya genelinde gittikçe artmaktadır (Kelly vd. 2008). ABD'de 1988-1994 yılları ve 2013-2014 arasında 2-19 yaş arası çocuk ve adölesanların obezite durumlarının değerlendirildiği bir çalışmada; çocukluk çağı obezitesi prevalansının %5,8'den %17,0'ye yükseldiği gösterilmiştir (Ogden vd. 2016). İngiltere'de 1994-2013 yılları arasında yapılan bir çalışmada ise 2-15 yaş arası çocuk ve adölesanlar arasında obezite görülme sıklığının her yıl %0,8 artarak toplamda %8,1 artış gösterdiği bulunmuştur (Van vd. 2015). Bangladeş'te 6-15 yaş arasındaki okul çocuklarıyla yapılan bir araştırmada; çocukluk çağı obezitesi prevalansı %9,7 bulunmuş bu verinin de Güney Doğu Asya'yla benzer olduğu gösterilmiştir (Jafar vd. 2008). Türkiye'de ise; son ulusal verilere göre, 6-18 yaş grubundaki obezite prevalansı % 8,2 olarak bildirilmiştir (Sağlık Bakanlığı 2010). Geçmişten günümüze kadar pek çok çalışmada yetişkinlik dönemindeki obezitenin çocukluk çağı obezitesinden kaynaklandığını, obez çocukların ileride obez yetişkinler olduğu gösterilmiştir (Serdula vd. 1993). Obezite için en önemli sebeplerden birisi ise besin seçimidir. Ömür boyu doğru ve yeterli besin seçimi ve çocukluk çağında oluşan alışkanlıklar ile yakından ilişkilidir (Van vd. 2015).

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından 2012 yılında yayınlanmış raporda taze meyve ve sebze tüketiminin öneminden bahsedilmiştir. Raporda çocukluk ve adölesan dönemde kazandırılacak taze meyve ve sebze tüketim alışkanlığının çocukluk çağı obezitesini önlemesiyle birlikte ileri dönemde oluşabilecek obezite için de koruyucu faktör olacağından bahsedilmiştir (WHO 2012). Türkiye Beslenme Rehberi (TÜBER) 2015 raporuna göre; yaşa ve cinsiyete göre değişmesi gerekmele birlikte sebze ve meyve tüketiminin günlük 2,5 ile 7 porsiyon arasında olması gerektiği bildirilmiştir (Sağlık Bakanlığı 2015).

Çocuklara sağlıklı beslenme alışkanlıkları kazandırmak ise ebeveynin bilinci ve sosyoekonomik düzeyi ile (SED) doğrudan ilişkilidir. Sosyoekonomik düzeye göre çocukluk çağı obezitesi görülme sıklığının değişim göstereceği çalışmalarda ileri sürülmüştür. Konu ile ilgili yapılan çalışmalar da; obezite görülme sıklığının sanayileşmiş ülkelerde düşük sosyoekonomik düzeyde (DSED) daha fazla görülürken, gelişmekte olan ülkelerde ise yüksek sosyoekonomik düzeyde (YSED) daha fazla görüldüğünü göstermiştir. Gelişmekte olan ülkelerde yükselen sosyoekonomik düzey ile fast food tüketiminin artıp taze meyve sebze tüketiminin azaltılması ve gelişmiş ülkelerde ise artan ebeveyn bilinci sonucu doğru beslenme alışkanlıklarının çocuklara kazandırılmasının bu farklılığın sebeplerinden olabileceği düşünülmüştür (Glasper 2010, Chen vd. 2011). Türkiye'de ise obezite prevalansının sosyoekonomik düzey ile doğru orantılı olarak arttığı gösterilmiştir (Baysal 2011). Ancak farklı sosyoekonomik düzeydeki çocuklarda çocukluk çağı obezitesi ve doğru besin tercihleri üzerine yapılmış çalışmalar sınırlı kalmıştır.

Bu çalışma; ömür boyu sürdürülecek alışkanlıkların kazanıldığı çocukluk çağında, anahtar noktalardan birisi sayılabilecek taze meyve ve sebze tüketim alışkanlığının yaş grubu ve cinsiyete göre incelenmesi, tüketim nedenlerinin belirlenmesi, değişen sosyoekonomik statününün bu alışkanlığa olan etkisinin incelenmesi amacıyla yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Çalışma alanı ve tarihi

Çalışma Şubat- Mart -Nisan tarihleri arasında İstanbul İlinde yaşayan farklı sosyoekonomik düzeydeki yaşları 7-14 arasında olan 190 öğrenci üzerinde tamamen gönüllülük esasına dayalı olarak yüz yüze anket yöntemiyle planlanıp yürütülmüştür.

### 2.2. Anket formu

Çalışmada kullanılan anket çalışmacılar tarafından planlanmıştır. Form iki bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde sosyoekonomik durumu ölçen ailelere ilişkin birey sayısı, eğitim durumu, meslek ve aylık gelirlerine yönelik 9 soru bulunurken, ikinci bölümde ise sebze meyve tüketim alışkanlığını belirlemeyi hedefleyen sebze-meyve tüketim sıklığı, meyve-sebze tercihleri, meyve-sebze tanıyıp tanıyıp tanıyıp tanıyıp tanıyıp tüketilen ve tüketilmeyen, bir günlük sebze-meyve tüketim kayıtlarını içeren 11 soru bulunmaktadır.

## 2.3.İstatistiksel Analiz

Araştırmanın amacı doğrultusunda, toplanan veriler yüzde, frekans hesaplamaları ve Ki-kare testi kullanılarak SPSS 22.0 (Statistical Package for the Social Sciences) paket programında analiz edilmiştir. Analiz sonuçları %95 güven düzeyinde ele alınmış ve  $p < 0,05$  değerleri istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.3.Araştırma sonuçları

Çocukluk döneminde ve adölesan dönemde edinilen beslenme davranışları, yaşam boyu sürdürülebilecek beslenme alışkanlıklara dönüşmektedir (Ahmadi vd. 2014). Büyüme ve gelişmenin hızlandığı, öğrenme ve kavrama işlevlerinin önem kazandığı okul çağında ise beslenmenin önemi daha da artmaktadır (Şimşek vd. 2009). Antioksidanlar, lif, vitaminler ve mineralleri içermesi açısından sebze ve meyveler beslenmenin önemli unsurlarıdır. Sebze meyve tüketimindeki artışın diyet kalitesini artırdığı çalışmalarda belirtilmiştir (Thompson vd. 2016). Rachel ve Sinley' in (2016) yaptığı çalışmada meyve ve sebze tüketiminin yetersiz olması çocuklarda obezite ile ilişkilendirilmiştir. Çalışmamızda İstanbul ilinde yaşayan 190 çocuk ve adölesan dönemdeki katılımcı ile gerçekleştirilmiştir Sosyo demografik bilgiler Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'e göre; 190 katılımcının %30 ' u 7-10 yaş arasında, %70 ' i ise 11-14 yaş aralığındadır. Katılımcıların % 54,7' si kız, % 45,3 'ü erkektir. Gelir durumuna göre ise katılımcılar, % 39,4 oranında 2000- 4000 TL arası, %36,2 oranında 2000 TL ve altı gelir düzeyine, % 24,4 oranında ise 4000 TL ve üzeri gelir seviyesine sahiptir.

Tablo 1. Sosyodemografik Veriler

Sosyodemografik Veriler		Frekans (n)	Yüzde (%)	Toplam Kişi Sayısı
Yaş	7-10 yaş	57	30	190
	11-14 yaş	133	70	
Cinsiyet	Kız	104	54,7	190
	Erkek	86	45,3	
Aylık gelir düzeyi	2000 TL altı	67	36,2	185
	2000-4000 TL	73	39,4	
	4000 TL ve üzeri	45	24,4	

Tablo 2. Sebze ve Meyve Tüketim Sıklıkları

Sebze ve Meyve Tüketim Sıklıkları			Ne sıklıkla sebze tüketirsiniz?						Toplam
			Her gün	Haftada 3	Haftada 1	Haftada 2	On beş günde	Ayda 1	
Yaş	7-10 yaş	n	25	13	8	6	1	1	54
		%	46,3%	24,1%	14,8%	11,1%	1,9%	1,9%	100,0%
	11-14 yaş	n	26	35	18	18	6	2	105
		%	24,8%	33,3%	17,1%	17,1%	5,7%	1,9%	100,0%
Toplam		n	51	48	26	24	7	3	159
		%	32,1%	30,2%	16,4%	15,1%	4,4%	1,9%	100,0%
			Ne sıklıkla meyve tüketirsiniz?						Toplam
			Her gün	Haftada 3	Haftada 1	Haftada 2	On beş günde	Ayda 1	
Yaş	7-10 yaş	n	37	10	8	1	0	1	57
		%	64,9%	17,5%	14,0%	1,8%	0,0%	1,8%	100,0%
	11-14 yaş	n	62	41	13	10	2	0	128
		%	48,4%	32,0%	10,2%	7,8%	1,6%	0,0%	100,0%
Toplam		n	99	51	21	11	2	1	185
		%	53,5%	27,6%	11,4%	5,9%	1,1%	,5%	100,0%
			Sebzeleri ne sıklıkla tüketirsiniz?						Toplam
			Her gün	Haftada 3	Haftada 1	Haftada 2	On beş günde	Ayda 1	
Cinsiyet	Kız	n	18	29	15	17	3	3	85
		%	21,2%	34,1%	17,6%	20,0%	3,5%	3,5%	100,0%
	Erkek	n	33	19	11	7	4	0	74
		%	44,6%	25,7%	14,9%	9,5%	5,4%	0,0%	100,0%
Toplam		n	51	48	26	24	7	3	159
		%	32,1%	30,2%	16,4%	15,1%	4,4%	1,9%	100,0%
			Ne sıklıkla meyve tüketirsiniz?						Toplam
			Her gün	Haftada 3	Haftada 1	Haftada 2	On beş günde	Ayda 1	
Cinsiyet	Kız	n	51	35	11	5	0	1	103
		%	49,5%	34,0%	10,7%	4,9%	0,0%	1,0%	100,0%
	Erkek	n	48	16	10	6	2	0	82
		%	58,5%	19,5%	12,2%	7,3%	2,4%	0,0%	100,0%
Toplam		n	99	51	21	11	2	1	185
		%	53,5%	27,6%	11,4%	5,9%	1,1%	,5%	100,0%

Sebze meyve tüketim sıklığı yaş gruplarına göre farklılık gösterebilmektedir (Yazman, 2016). Mevcut çalışmalar göstermiştir ki çocukların yaşları büyüdükçe sebze tüketimleri belirgin şekilde azalmaktadır (Larson vd., 2009). Birleşik Krallık Ulusal Beslenme Anketi'ne göre katılımcıların yaşları ilerledikçe sebze meyve tüketimlerinin azaldığı ve ergenlik döneminde en düşük seviyeye ulaştığı belirlenmiştir (Albani vd., 2017). Almanya'da yapılan çalışmada ise 7-10 yaş arası çocuklarda diğer yaş grubundakilere göre meyve tüketimi kıyaslandığında gruplar arasında anlamlı fark elde edilmiştir ( $p < 0,05$ ) (Borrmann ve Mensink, 2015). Polonya'da 9 yaşındaki çocuklarla gerçekleştirilen çalışmada yaşları büyüdükçe çocukların sebze meyve tüketiminin azaldığı belirlenmiştir (Wolnicka vd., 2015). Çalışma grubumuzda da Tablo 2'de belirtildiği gibi mevcut çalışmalarını destekleyen sonuçlar ortaya çıkmıştır. 7-10 yaş arası katılımcıların sebze meyve tüketimi, 11-14 yaş arası katılımcıların sebze meyve tüketiminden iki cinsiyette de daha yüksek çıkmıştır. Grubun 7-10 yaşındaki katılımcılarının büyük bir kısmı "her gün" (%46,3) ve "haftada 3 gün" (%24,1) sebze tükettiklerini belirtmiştir. 11-14 yaş grubunda da benzer şekilde katılımcıların büyük bir oranı, "haftada 3 gün" (%33,3) ve "her gün" (%24,8) sebze tükettiklerini belirtmiştir. Cinsiyet olarak en yüksek oranlar değerlendirildiğinde, erkeklerin %58,5'i sı kızların ise, %49,5 hergün meyve yediğini belirtirken, sebze tüketimi cinsiyete göre gözlemlendiğinde ise, erkeklerin %44,6'ı sı hergün sebze tükettiklerini belirtirken, kızların %34,1'i haftada 3 tükettiklerini bildirmişlerdir. Sebze-meyve tüketimi de cinsiyete göre farklılık göstermektedir (Pedersen, 2011, Yazman, 2016). Yapılan çalışmalar kız çocuklarının, erkeklerden daha fazla ve sık sebze meyve tükettiğini göstermiştir (Bere, 2007, Von, 2002). Avrupa'da 33 ülkede yapılan çalışmada da kız çocuklarının, erkeklere kıyasla daha fazla sebze meyve tükettiği belirlenmiştir (Diethelm, 2012, Vereecken, 2015). Ülkemizde de literatürü destekleyen çalışmalar mevcuttur (Yazman 2016). Gerçekleştirilen çalışmada ise diğer çalışmaların tersine erkek katılımcıların sebze meyve tüketim sıklığı kız katılımcılara göre daha yüksek bulunmuştur (E: %58,5, K: %49,5). Literatürde ki çalışmaların daha büyük katılımcı ile gerçekleştirilmiş olmasının ve çalışma grubumuzun çoğunluğunun erkek olmasının bu sonucu etkileyebileceği düşünülmüştür.

Tablo 3. Katılımcıların Sebze ve Meyve Tüketmeme Nedenleri

Sebze ve Meyve Tüketmeme Nedenleri	Frekans (n)	Yüzde (%)	
Sebze tüketmeme nedeni	Besin alerjim var	2	1,1
	Kokusunu tadını sevmiyorum	27	14,2
	Rengini, şeklini beğenmiyorum	15	7,9
	Yeme alışkanlığım yok	17	8,9
	Annem, babam, kardeşim de yemiyor	10	5,3
Meyve tüketmeme nedeni	Kokusunu tadını sevmiyorum	3	1,6
	Rengini, şeklini beğenmiyorum	2	1,1
	Yeme alışkanlığım yok	4	2,1
	Annem, babam, kardeşim de yemiyor	1	,5

Bireylerin besin seçimini etkileyen başlıca faktörler; açlık, besinleri yemeye karşı duyulan istek, besinlerin lezzeti, aile, besinlerin bulunabilirliği besin seçimlerini önemli ölçüde etkileyen faktörlerdendir (Kabaran ve Mercanlıgil 2013, Larson vd. 2012). Meyve ve sebze tüketim alışkanlığı ile ilgili çalışmalar ise; ailenin meyve ve sebze tüketim alışkanlıklarının, besinlerin bulunabilirliği ve en önemlisi tadından hoşlanmanın çocukların meyve ve sebze tüketiminde en önemli belirleyiciler olduğunu göstermiştir (Liem, 2006, Gibson, 1998). Tablo 3'te katılımcıların sebze ve meyve tüketmeme sebepleri verilmiştir. Katılımcılar; sebze tüketmeme nedeni olarak %14,2 oranında kokusunu tadını sevmiyorum, %8,9 oranında yeme alışkanlığım yok, %7,9 oranında rengini, şeklini beğenmiyorum, %5,3 oranında annem, babam, kardeşim de yemiyor ve %1,1 oranında besin alerjim var olarak bildirmişlerdir. Katılımcıların meyve tüketmeme sebebi olarak ise, yeme alışkanlığım yok (%2,1), kokusunu tadını sevmiyorum (%1,6), rengini, şeklini beğenmiyorum (%1,1) ve annem, babam, kardeşim de yemiyor (%0,5) cevaplarını vermişlerdir. Meyve tüketim sıklıkları incelendiğinde ise; 7-10 yaş grubunda bulunan katılımcıların büyük bir kısmı "her gün" (%64,9) meyve tükettiklerini belirtmiştir. Diğer yaş grubu olan 11-14 yaş grubunda da benzer şekilde katılımcıların büyük bir oranı, "her gün" (%48,4) ve "haftada 3 gün" (%32) meyve tükettiklerini belirtmiştir. Meyve ve sebze tüketimini engelleyen faktörlerin belirlenmesi amacıyla Haynes' in (2013) yaptığı çalışmada; fiyat, ulaşım, kalite, ulaşılabilen besinlerin çeşitliliği ve değişen toplumsal modelin meyve ve sebzeye ulaşmada engel oluşturduğu belirtilmiştir. Blanchette'nin (2005) 6-12 yaş aralığındaki katılımcılar ile yaptığı çalışmada meyve ve sebze tüketiminde en belirleyici faktör besinin erişebilir olmasıdır. Tablo 3'te belirtildiği üzere yapılan çalışmada; sebze tüketmeyen çocuklarda kokusunu, tadını sevmiyor olmaları (%14,2) tüketmeme sebeplerinin en belirleyicisidir. Araştırma grubumuzdaki meyve tüketmeyen çocuklarda yeme alışkanlıklarının olmaması (%2,1) tüketmeme sebeplerinin en belirleyicisidir. Katılımcıların % 5,3'ü aile bireyleri sebze tüketmediği için kendisinin de tüketmediğini belirtmiştir. Ailelerin besin seçimi ile ilgili davranış ve tutumlarının, çocuklarının besin tüketimlerinde etkili olduğu görülmüştür. Ebeveynlerin meyve ve sebze tüketmelerinin, çocuklarına da tüketim alışkanlıklarını kazandırmasının etkili yöntemlerinden biri olduğu savunulabilir. Benzer olarak; Perikkou ve ark. (2013) Kıbrıs'ta 218 ilkököl 3. sınıf öğrencisi ile yaptıkları çalışmada daha önce beğenilmeyen bir sebzeyi katılımcıların ebeveynlerinin tüketmesi, çocukların bu sebzeyi sevmelerini ve tüketmelerini sağladığı tespit edilmiştir.

Tablo 4. Ailelerin Gelir Düzeyine Göre Sebze ve Meyve Tüketim Sıklıkları



			Ne sıklıkla sebze tüketirsiniz?				Toplam	$\chi^2$	p
			Her gün	Haftada 3	Haftada 1	Haftada 2 ve daha fazla			
Aylık gelir düzeyi	2000 TL altı	n	27	13	11	9	60	17,21	,01
		%	45,0%	21,7%	18,3%	15,0%	100,0%		
	2000-4000 TL	n	18	17	12	18	65		
		%	27,7%	26,2%	18,5%	27,7%	100,0%		
	4000 TL ve üzeri	n	6	18	3	7	34		
		%	17,6%	52,9%	8,8%	20,6%	100,0%		
Toplam		n	51	48	26	34	159		
		%	32,1%	30,2%	16,4%	21,4%	100,0%		
			Ne sıklıkla meyve tüketirsiniz?				Toplam	$\chi^2$	p
			Her gün	Haftada 3	Haftada 1	Haftada 2 ve daha fazla			
Aylık gelir düzeyi	2000 TL altı	n	38	11	11	7	67	9,86	0,13
		%	56,7%	16,4%	16,4%	10,4%	100,0%		
	2000-4000 TL	n	40	23	5	5	73		
		%	54,8%	31,5%	6,8%	6,8%	100,0%		
	4000 TL ve üzeri	n	21	17	5	2	45		
		%	46,7%	37,8%	11,1%	4,4%	100,0%		
Toplam		n	99	51	21	14	185		
		%	53,5%	27,6%	11,4%	7,6%	100,0%		

Besin seçiminin diğer bir belirleyicisi ise; ailelerin sosyoekonomik durumunun besinlere ulaşımına etkisidir (Ding vd. 2012, Han vd. 2010, Bere vd. 2008, Neumark vd. 2008, Molaison vd. 2005). Bireylerin meyve ve sebzeleri tüketim sıklıkları; bireysel tercihlerinden çok içinde bulunulan sosyoekonomik, demografik ve kültürel çevrenin etrafında şekillenmektedir (Aydın, 2011). Tablo 4'te sosyoekonomik düzey ile sebze tüketim sıklığı karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre; aylık geliri 2000 TL altı olan katılımcıların %45'i her gün, %21,7'si haftada 3, %18,3'ü haftada 1 ve %15'i haftada 2 ve daha az sebze tüketmektedir. Gelir düzeyi 2000-4000 TL olan katılımcıların %27,7'si her gün, %26,2'si haftada 3, %18,5'i haftada 1 ve %27,7'si haftada 2 ve daha az sebze tükettiklerini bildirmişlerdir. Gelir düzeyi 4000 TL ve üzeri olan katılımcıların %17,6'sının her gün, %52,9'unun haftada 3, %8,8'inin haftada 1 ve %20,6'sının ise haftada 2 ve daha az sebze tükettiği tespit edilmiştir. Sebze tüketim sıklığı ile aylık gelir düzeyi arasında anlamlı bir ilişki gözlemlenmemiştir ( $\chi^2=17,21$ ,  $p<0,05$ ). Gelir düzeyi daha düşük olan katılımcıların daha sık sebze tüketme eğiliminde oldukları anlaşılmıştır. Sosyoekonomik düzey ile meyve tüketim sıklığı karşılaştırıldığında; gelir düzeyi 2000 TL altı olan katılımcıların %56,7'si her gün, %16,4'ü haftada 3, %16,4'ü haftada 1 ve %10,4'ü haftada 2 ve daha az meyve tüketmektedir. Gelir düzeyi 2000-4000 TL olan katılımcıların %54,8'inin her gün, %31,5'inin haftada 3, %6,8'inin haftada 1 ve %6,8'inin haftada 2 ve daha az meyve tükettiği tespit edilmiştir. Gelir düzeyi 4000 TL ve üzeri olan katılımcıların %46,7'si her gün, %37,8'i haftada 3, %11,1'i haftada 1 ve %4,4'ü ise haftada 2 ve daha az meyve tüketmektedir. Meyve tüketim sıklığı ile aylık gelir düzeyi arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır ( $\chi^2=9,86$ ,  $p>0,05$ ). Yazman (2016)' in çalışmasında YSED'deki çocuklarda DSED'dekilere kıyasla sebze meyve tüketimi daha yüksek bulunmuştur. Benzer bir şekilde Uçar ve Çakıroğlu'nun (2012) çalışmasında; düşük, orta ve yüksek SED' den katılımcılar ile yapılan çalışmada en yüksek meyve tüketiminin orta sosyoekonomik düzeyde, en az ise düşük sosyoekonomik düzeyde görüldüğü belirlenmiştir. Borrmann ve Mensink' in (2015) çalışmasında sosyoekonomik düzeyi düşük ailelerin çocuklarının beslenme alışkanlıkları incelendiğinde sebze meyve tüketimlerinin düşük ve sağlıksız bir diyet ile beslendikleri görülmüştür. Bunun en önemli nedeninin sebze meyvelerin fiyatlarının yüksek oluşu ve ailelerin alım gücü olmamasından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Amerika'da Hughes (2012) ve Dubowitz (2008)' in yaptığı çalışmalarında da literatürü destekler biçimde DSED' de meyve tüketimi daha düşük bulunmuştur. Türkiye İstatistik Kurumu'nun yaptığı "Hane halkı tüketim harcamaları" anketinin sonucuna göre sosyoekonomik durumu düşük ailelerde en çok tüketilen gıda grupları tahıl ürünleri ve sebze meyve olduğu belirlenmiştir (Aydın, 2011). Yapılan çalışmada Tablo 4'te gösterildiği üzere meyve tüketip tüketmeme durumu ve meyve tüketim sıklığı ile SED arasında anlamlı bir ilişki bulunmamıştır. Sebze tüketim sıklığı ile SED ise ilişkili bulunmuştur ( $\chi^2=5,94$ ,  $p\leq 0,05$ ). DSED'deki katılımcılarda sebze tüketimi (%89,6) ve sebze tüketim sıklığı (%45'i her gün) diğer gruplardan daha yüksek bulunmuştur. Ülkemizde; sosyoekonomik düzeyi düşük hanelerin beslenmesi büyük ölçüde bitkisel besinlere dayalı olduğu daha önce yapılan çalışmalarda bildirilmiştir (Baysal 2011). Ülkeler arası görülen bu farklılığın; iklim değişikliğine bağlı olarak sebze ve meyve satış fiyatlarının değişmesi ile ilişkilendirilebilir. Besinleri satın alım gücünün tüketimi belirleyen önemli bir sebep olduğu unutulmamalıdır.

Tablo 5. Anne Eğitim Düzeyine Göre Sebze ve Meyve Tüketim Sıklığı

			Anne eğitim				Toplam	
			Okuryazar değil	Okuryazar	Ortaokul ve üstü	Üniversite ve üstü		
Ne sıklıkla sebze tüketirsiniz?	Her gün	n	4	16	29	2	51	
		%	44,4%	37,2%	32,2%	11,8%	32,1%	
	Haftada 3	n	2	7	29	10	48	
		%	22,2%	16,3%	32,2%	58,8%	30,2%	
	Haftada 1	n	2	9	13	2	26	
		%	22,2%	20,9%	14,4%	11,8%	16,4%	
	Haftada 2	n	0	9	13	2	24	
		%	0,0%	20,9%	14,4%	11,8%	15,1%	
	On beş günde	n	1	1	4	1	7	
		%	11,1%	2,3%	4,4%	5,9%	4,4%	
	Ayda 1	n	0	1	2	0	3	
		%	0,0%	2,3%	2,2%	0,0%	1,9%	
	Toplam		n	9	43	90	17	159
			%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
			Anne eğitim				Toplam	
			Okuryazar değil	Okuryazar	Ortaokul ve üstü	Üniversite ve üstü		
Ne sıklıkla meyve tüketirsiniz?	Her gün	n	3	27	58	11	99	
		%	21,4%	54,0%	58,0%	52,4%	53,5%	
	Haftada 3	n	6	10	29	6	51	
		%	42,9%	20,0%	29,0%	28,6%	27,6%	
	Haftada 1	n	3	9	6	3	21	
		%	21,4%	18,0%	6,0%	14,3%	11,4%	
	Haftada 2	n	0	3	7	1	11	
		%	0,0%	6,0%	7,0%	4,8%	5,9%	
	On beş günde	n	1	1	0	0	2	
		%	7,1%	2,0%	0,0%	0,0%	1,1%	
	Ayda 1	n	1	0	0	0	1	
		%	7,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,5%	
	Toplam		n	14	50	100	21	185
			%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Ülkemizde okul çağı çocuklarında meyve ve sebze tüketiminin sorgulandığı Türkiye’de Okul Çağı Çocuklarında (2011) (6-10 Yaş Grubu) Büyümenin İzlenmesi çalışmasına göre her gün sebze ve meyve tüketen çocukların oranı sırasıyla %25.8 ve %31.1 olarak bulunmuştur. Yapılan çalışma ile ilgili, Tablo 5’de annenin eğitim düzeyi ile sebze tüketimi ilişkisi verilmiştir. Annesi okuryazar olmayan katılımcılar sırasıyla, her gün (%44,4), haftada 3 (%22,2) ve haftada 1 (%22,2) sebze tükettiğini belirtmişlerdir. Annesi okuryazar olan katılımcılar ise %37,2 oranında her gün olmak üzere, haftada 3 (%16,3), haftada 1 (%14,4) ve haftada 2 (%14,4) sebze tükettiğini bildirmişlerdir. Annesi ortaokul ve üstü eğitim düzeyinde bulunan katılımcılar aynı oranda her gün (%32,2) ve haftada 3 (%32,2) sebze tükettiği tespit edilmiştir. Annesi lisans ve üstü eğitim düzeyinde bulunan katılımcıların büyük bir oranı ise haftada 3 (%58,8) sebze tükettiğini belirtmiştir. Annenin eğitim düzeyi ile meyve tüketimi ilişkisi incelendiğinde ise, annesi okuryazar olmayan katılımcıların %42,9’u haftada 3 olmak üzere, haftada 1 (%21,4) ve her gün (%21,4) meyve tükettiği bildirilmiştir. Annesi okuryazar olan katılımcılar %54 oranında her gün meyve tükettiği tespit edilmiştir. Annesi ortaokul ve üstü eğitim düzeyinde bulunan katılımcılar sırasıyla her gün %58 ve haftada 3 %29 kez meyve tükettiğini belirtmiştir. Annesi lisans ve üstü eğitim düzeyinde bulunan katılımcıların %52,4’ü her gün %28,6’ sı ise haftada 3 kere meyve tükettiğini bildirmişlerdir. Jones ve ark. (2011) İngiltere’de yaptığı çalışmada yüksek eğitim düzeyine sahip annelerin çocuklarının sebze meyve tüketim düzeyi daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Borrmann ve diğ. (2015) yaptığı çalışmada; eğitim düzeyi yüksek ailelerin çocuklarında sebze meyve tüketiminin eğitim düzeyi düşük ailelerin çocuklarına göre anlamlı derecede yüksek olduğu belirlenmiştir. Ebeveynlerin eğitim seviyesinin yükselmesiyle ailenin sosyoekonomik düzeyindeki artışta birbiriyle ilişkili bulunmuştur. Valmórbidaa ve ark (2014) gerçekleştirdiği çalışmada sebze meyve tüketimi ailelerin eğitim ve gelir düzeyi ile ilişkili olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışmada; Tablo 5’de belirtildiği üzere anne eğitim düzeyi ortaokul ve üzerine doğru ilerledikçe meyve sebze tüketim oranlarında artış saptanmıştır. Eğitim seviyesi ile birlikte alım gücünün ve beslenme bilinç düzeyinin artışı bu sonuca sebep olarak gösterilebilir.

Tablo 6. Sebze ve Meyve Tüketim Şekilleri

Sebze	2000 TL ve altı		2000-4000 TL		4000 TL ve üzeri	
	Frekans (n)	Yüzde (%)	Frekans (n)	Yüzde (%)	Frekans (n)	Yüzde (%)
Çiğ olarak	54	80,6	59	77,6	26	55,3
Pişmiş soğuk yemek şeklinde	23	34,3	29	38,2	30	63,8
Püre şeklinde	5	7,5	12	15,8	11	23,4
Yağda kızartılmış şekilde	33	49,3	31	40,8	16	34,0
Taze sıkılmış olarak	19	28,4	11	14,5	3	6,4
Meyve	2000 TL ve altı		2000-4000 TL		4000 TL ve üzeri	
	Frekans (n)	Yüzde (%)	Frekans (n)	Yüzde (%)	Frekans (n)	Yüzde (%)
Taze meyve olarak	65	97,0	73	96,1	45	95,7
Kuru meyve olarak	9	13,4	11	14,5	20	42,6
Taze sıkılmış meyve suyu olarak	19	28,4	27	35,5	19	40,4
Hazır meyve suyu olarak	16	23,9	21	27,6	19	40,4
Komposto veya hoşaf olarak	15	22,4	14	18,4	12	25,5
Tatlıların içinde	12	17,9	14	18,4	22	46,8

Sağlık Bakanlığı'nın 2014 raporuna göre; Türkiye'de sebze yemeklerinde (etli/etsiz) az veya çok suda pişirme/buğulama en çok kullanılan (%79,4) yemek pişirme yöntemi olarak rapor edilmiştir. Çalışmamızda ise, Tablo 6'da SED'e göre sebzelerin nasıl tüketildikleri incelenmiştir. "2000 TL ve altı" gelir grubunda bulunan katılımcılar sebzeleri %80,6 oranında çiğ olarak, %49,3 oranında yağda kızartılmış şekilde ve %34,3 oranında pişmiş soğuk yemek şeklinde tükettiklerini ifade etmiştir. "2000-4000 TL" gelir grubunda bulunan katılımcılar, sebzeleri sırasıyla, çiğ olarak (%77,6), yağda kızartılmış (%40,8) ve pişmiş soğuk yemek şeklinde (%38,2) tükettiklerini bildirmişlerdir. "4000 TL ve üzeri" gelir grubunda bulunan katılımcılar ise, %63,8 oranında pişmiş soğuk yemek, %55,3 oranında çiğ olarak ve %4,3 oranında yağda kızartılmış şekilde tükettiklerini ifade etmiştir. Benzer bir şekilde; Tablo 6'da SED'e göre meyvelerin nasıl tüketildikleri incelenmiştir. Tabloya göre, "2000 TL ve altı" gelir grubunda bulunan katılımcılar meyveleri %97 oranında taze olarak, %28,4 oranında taze sıkılmış meyve suyu olarak ve %23,9 oranında hazır meyve suyu olarak tükettiklerini ifade etmiştir. "2000-4000 TL" gelir grubunda bulunan katılımcılar, meyveleri sırasıyla, taze olarak %96,1 oranında, taze sıkılmış meyve suyu olarak %35,5 oranında ve hazır meyve suyu olarak %27,6 oranında tükettiklerini ifade etmiştir. "4000 TL ve üzeri" gelir grubunda bulunan katılımcıların ise, %95,7'si taze olarak, %46,8'si tatlıların içinde, %42,6'sı kuru meyve olarak, %40,4'ü taze sıkılmış meyve suyu olarak ve %40,4'ü hazır meyve suyu olarak tükettiklerini belirtmiştir. Giskes (2010) ve Darmon (2008)'in araştırmalarında Avrupa ve Amerika'da yapılan çalışmalarda, düşük SED'deki bireylerin daha çok kızartılmış sebze yemeklerini tercih ettikleri, yüksek SED'deki bireylerin ise daha çok çiğ sebze tüketmeyi tercih ettikleri bildirilmiştir. NHANES (2014) çalışması sonunda yayınlanan raporda 6-11 yaş arası katılımcılarda sebze tüketiminin yüzde 30'unu kızarmış patatesin oluşturduğu belirtilmiştir. Yazman (2016) çalışmasında ise ülkemizde yüksek ve düşük SED'de sebze en fazla etli veya kıymalı şekilde tüketilirken ikinci tercih olarak yüksek SED'de çiğ tüketim, düşük SED'de kızartılmış olarak tüketimdir. Katılımcıların meyveyi ise SED fark etmeksizin birinci sırada taze meyve şeklinde, ikinci sırada ise yüksek SED'dekilerin kuru meyve (%25), DSED'dekilerin komposto/hoşaf (%24,2) olarak tercih ettikleri gözlenmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada Tablo 6'da gösterildiği üzere; düşük ve orta SED'de sebze en fazla çiğ (sırasıyla; %80,6, %77,6) olarak tüketilirken, ikinci sırada yağda kızartılmış (sırasıyla; %49,3, %40,8) şekilde, YSED'deki katılımcılarda ilk sırada pişmiş soğuk yemek şeklinde (%63,8) ikinci sırada çiğ olarak (%55,3) tükettikleri gözlemlendi. Aradaki farklılığın bireylerin beslenme bilinç düzeyi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. YSED'deki katılımcıların eğitim seviyelerinin de yükseleceği göz önünde bulundurulduğunda; beslenme bilinç düzeylerinin arttıkça kızartma yerine çiğ veya soğuk yemek olarak tüketimin artacağı düşünülmektedir. Beslenme bilinç düzeyi ile ilgili daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.

#### 4. Sonuç ve öneriler

Beslenme alışkanlıklarının temeli çocukluk çağında oluşmaktadır. Oluşan alışkanlıkların genetik yönelendirmeler dışında en önemli çevresel faktörü ailedir. Ailenin tüketim alışkanlıkları çocukların beslenme alışkanlıkları için önemli bir rehberdir. Ailenin alışkanlıkları içinse alım gücü önemli bir kriterdir. Sağlıklı besinlerin doğru miktarda tüketilebilmesi için farklı ekonomik düzeylere uygun alternatif besin önerisi yaratılarak ailelere verilecek beslenme eğitimleri çocuklarının sağlıklı beslenme alışkanlıkları kazanması için önemli bir adım olabilir.

Çocuk ve adölesanlara yönelik olarak hastalıklardan korunmada, kilo kontrolünü sağlamada yeterli ve dengeli beslenme açısından büyük rolü olan sebze ve meyvelerin tüketimini arttırmak için tanıtım kampanyalarında etkili ve sürdürülebilir stratejiler oluşturulmalıdır.

## Kaynakça

- Ahmadi,N.,Black J.L.,Velazquez,C.E.,Chapman,G. E., ve Veenstra, G.,2014. Associations between socio-economic status and school-day dietary intake in a sample of grade 5–8 students in Vancouver, Canada. *Public Health Nutrition* 18(5): s:764-773,2014
- Albani, V.,Butler,L.,Traill,B.W.,Kennedy,2017.Fruit and vegetable intake : with age across childhood and adolescence. *British Journal of Nutrition* 11:s:759-765,2017
- Aydın,K.,2011.Türkiye’de hanehalkı gıda harcamaları ve sosyoekonomik faktörler. *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 21:s:56-76,2011
- Bakanlığı, T.C.S., 2015. Türkiye’ ye Özgü Beslenme Rehberi. Ankara,2015
- Baysal,A.,2011.Beslenme. 13.Baskı.Ankara:Hatiboğlu Yayınları.
- Beaglehole R, Bonita R, Horton R, et al., 2011. Priority actions for the non-communicable disease crisis. *Lancet*377: s: 1438–47,2011
- Bere,E.,Brug,J.,Klepp,K.,2007. Why do boys eat less fruit and vegetables than girls? *Public Health Nutrition*11:s:321–325,2007
- Bere,E.,Lenthe,F.,Klepp,K.I.,Brug,J.,2008. Why do parents' education level and income affect the amount of fruits and vegetables adolescents eat?. *European Journal of Public Health*18:s:611–615,2008
- Blanchette,L.,Brug,J., 2005. Determinants of fruit and vegetable consumption among 6–12-year-old children and effective interventions to increase consumption. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*18:s:431-448,2005
- Borrmann,A.,Mensink,B.M.,2015.Fruit and vegetable consumption by children and adolescents in Germany. Results of KIGGS-Welle 1. *Bundesgesundheitsbl* 58:s:1005-1014,2015
- Çayır, A., Atak, N., Köse, S. 2011. Beslenme ve Diyet Kliniğine Başvuranlarda Obezite Durumu ve Etkili Faktörlerin Belirlenmesi Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Mecmuası 64(1):s:13-19,2011
- Chen TJ, Chen TJ, Modin B, Ji CY, Hjern A., 2011. Regional, socioeconomic and urban-rural disparities in child and adolescent obesity in China: a multilevel analysis. *Acta Paediatr* 100(12):s:1583-9,2011
- Darmon N & Drewnowski A, 2008. Does social class predict diet quality? *Am J Clin Nutr* 87:s: 1107–1117, 2008.
- Diethelm,K.,Jankovic,N.,Moreno,LA., ve diğ.,2012.Food intake of European adolescents in the light of different food-based dietary guidelines: results of the HELENA (Healthy Lifestyle in Europe by Nutrition in Adolescence) Study. *Public Health Nutrition*15:s:386-398,2012
- Ding,D.,Sallis,J.F.,Norman,G.J.,vedig.,2012. Community food environment, home food environment, and fruit and vegetable intake of children and adolescents.*Journal of Nutrition Education and Behavior* 44:s:634–638,2012
- Dubowitz,T., Heron, M.,Finch,B.,ve diğ.,2008.Neighborhood socioeconomic status and fruit and vegetable intake among whites, blacks, and Mexican Americans in the United States. *The American Journal of Clinical Nutrition* 87:s:1883-1891,2008
- Gibson,E.L.,Wardle,J.,Watts, C.J.,1998. Fruit and vegetable consumption, nutritional knowledge and beliefs in mothers and children.*Appetite*31:s:205-228,1998
- Giskes,K.,Avendano,M.,Brug,J. ve diğ.,2010. A systematic review of studies on socioeconomic inequalities in dietary intakes associated with weight gain and overweight/ obesity conducted among European adults.*Obesity Review* 11:s:413– 429,2010
- Glasper A.,2010. The fat of the land: obesity prevention over obesity treatment. *Br J Nurs*;19(4):212-3,2010
- Haynes-Maslow,L.,Parsons,S.E.,Wheeler,S.B.,Leone,L.A.,2013.Qualitative Study Of Perceived Barriers To Fruit And Vegetable Consumption Among Low-Income Populations, North Carolina.*Prev Chronic Disease Journal* 10:s:34-40,2013
- Hughes,RJ.,Edwards,KL.ve diğ.,2012. Childhood consumption of fruit and vegetables across England: a study of 2306 6-7-year-olds. *British journal of nutrition*108:s:733-742,2012
- Jafar TH, Qadri Z, Islam M, Hatcher J, Bhutta ZA, Chaturvedi N, 2008. Rise in childhood obesity with persistently high rates of undernutrition among urban school-aged Indo-Asian children. *Arch Dis Child* 93(5):s:373–378,2008
- Jones,L.R.,Rogers,S.,Ness,A.R.2011.Emmett, Is maternal education level associated with diet in 10-year-old children?Public Health Nutrition14(11):s:2037-2048,2011
- Kabaran,S.,Merçanlıgil,S.M.,2013.Adölesan dönem besin seçimlerini hangi faktörler etkiliyor. *Güncel Pediatri Dergisi* 11:s:121-127,2013
- Kelly T, Yang W, Chen CS, et al.,2008. Global burden of obesity in 2005 and projections to 2030. *Int J Obes (Lond)* 32:s:1431–7,2008
- Kim,S.A.,Moore,L.V., Galuska, D.,ve diğ.,2014. Division of nutrition, physical activity, and obesity, National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion, CDC.
- Larson,N.,Laska,M.N.,Story,M.,Neumark-Sztainer,D.,2012.Predictors of fruit and vegetable intake in young adulthood.*J Acad Nutr Diet* 112:s:1216–1222,2012
- Larson,N.I.,Neumark-Sztainer,D.,Harnack, L., Wall, M., Story, M.,Eisenberg, M. E.,2009.Calcium and dairy intake. Longitudinal trends during the transition to young adulthood and correlates of calcium intake. *Journal of Nutrition Education and Behavior* 41:s:254–260,2009
- Liem,D.,G.,Bogers,R.P.,Dagnelie,P.C.,Graaf,C.,2006.Fruit Consumption of Boys (8-11 Years) is Related to Preferences for Sour Taste.*Appetite* 46: s:93-96,2006
- Molaison,E.F.,Connell,C.L.,Stuff,J.E.,Yadrick,M.K.,Bogle, M., 2005. Influences on fruit and vegetable consumption by low-income black American adolescents. *Journal of Nutrition Education and Behavior* 37:s:246–251,2005
- Neumark,D.,Flattum, C.F., Story,M.,Feldman,S.,Petrich,C.A.,2008. Dietary approaches to healthy weight management for adolescents: the New Moves model. *Adolesc Med State Art Rev*19:s: 421–430,2008
- Ogden CL, Carroll MD, Lawman HG, Fryar CD, Kruszon-Moran D, Kit BK, Flegal KM.,2016. Trends in Obesity Prevalence Among Children 1988-1994 Through 2013-2014. *JAMA*315(21):s:2292-2299,2016
- Pedersen,T.P.,Meilstrup,C.,Holstein,B.E.,&Rasmussen,M.,2011.Fruit and vegetable intake is associated with frequency of breakfast, lunch and evening meal. Cross-sectional study of 11-, 13-, and 15-year-olds. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical*



- Activity9:s:9-15,2011
- Perikkou,A.,Gavrieli,A.,Tzirkali,M.,Yannakoulia,M.,2013.A novel approach for increasing fruit consumption in children. Journal Of The Academy Of Nutrition And Dietetics113(9):s:1188-193,2013
- Sağlık Bakanlığı Türkiye Beslenme ve Sağlık Araştırması 2010. Beslenme Durumu ve Alışkanlıklarının Değerlendirilmesi Sonuç Raporu. 2014
- Serdula MK, Ivery D, Coates RJ, et al.,1993. Do obese children become obese adults? A review of the literature. Prev Med 22:s: 167–77,1993
- Şimşek,I.,Yabancı,N.,Turan,Ş.,2009.Okul çağı çocuklarının beslenme çantalarının değerlendirilmesi.Aile ve Toplum Dergisi 5(19):s:99-110,2009
- Thompson,D.,Ferry,R., ve diğ.,2016. Improvement in Fruit and Vegetable Consumption Associated with More Favorable Energy Density and Nutrient and Food Group Intake,but not Kilocalories.Journal Of The Academy Of Nutrition And Dietetics (4): s:1443-1449,2016
- Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü.2011. Türkiye’de Okul Çağı Çocuklarında (6-10 Yaş Grubu) Büyümenin İzlenmesi (TOÇBİ) Projesi Araştırma Raporu. Ankara.
- Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı.2014.Beslenme Durumu ve Alışkanlıklarının Değerlendirilmesi Sonuç Raporu. Ankara.
- Uçar,A.,Çakıroğlu,P.F.,2012.Farklı sosyoekonomik düzeye sahip ilköğretim öğrencilerinin meyve tüketimleri. Ankara Sağlık Bilimleri Dergisi 1(1):s:91-103,2012
- Valmórbidaa,J.L.,Vitolo,M.R.,2014. Factors associated with low consumption of fruits and vegetables by preschoolers of low socio-economic level. Journal of Pediatrics90(152):s:464-471,2014
- Van Jaarsveld CHM, et al., 2015.Childhood obesity trends from primary care electronic health records in England between 1994 and 2013: population-based cohort study. Arch Dis Child 4:s:1–6,2015
- Vereecken,C., ve diğ.,2015.Fruit and vegetable consumption trends among adolescents from 2002 to 2010 in 33 countries.European Journal of Public Health25(2):s:16-21,2015
- Von Post-Skagegard,M.,Samuelson,G.,Karlstrom,B.,ve diğ.,2002.Changes in food habits in healthy Swedish adolescents during the transition from adolescence to adulthood. European Journal of Clinical Nutrition56:s:532–538,2002
- WHO,2012. Population-based approaches to *Childhood Obesity Prevention* ,2012
- Wolnicka,K.,Taraszewska,A.M.,Schuets,J.,Jarosz,M.,2015.Factors within the family environment such as parent dietary habits and fruit and vegetable availability have the greatest influence on fruit and vegetable consumption by polish children. Public Healty Nutrition 18(15):s:2705-2711,2015
- Yazman,H.,2016.Farklı sosyoekonomik düzeydeki 10-14 yaş grubu çocuklarda sebze-meyve tüketim alışkanlığının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Medipol Üniversitesi SBF.



# Haşhaş Kapsülü Küspesinin Sabit Yataklı Reaktörde Katalitik Pirolizi

Derya Yeşim Hopa<sup>1</sup>, Nazan Yılmaz<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Afyon, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0161-1404)

<sup>2</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Afyon, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2145-3098)

(İlk Geliş Tarihi 24 Eylül 2019 ve Kabul Tarihi 2 Kasım 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.624066)

**ATIF/REFERENCE:** Hopa, D. Y. & Yılmaz, N. (2019). Haşhaş Kapsülü Küspesinin Sabit Yataklı Reaktörde Katalitik Pirolizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 581-588.

## Öz

İnsanlık tarihinde teknoloji, bilim ve sanayinin gelişmesi ile enerji türlerinin kullanımının arttığı görülmüştür. Biyokütle enerjisi yenilenebilir ve bol bulunan enerji kaynaklarından bir tanesidir. Biyokütleden piroliz işlemi ile gaz, sıvı (biyoyağ) ve katı ürünler (char) elde edilmektedir. Piroliz ürünü olan biyoyağ yakıt olarak değerlendirilebilmektedir. Bu doğrultuda yapılan bu çalışmada, biyokütle olarak seçilen haşhaş küspesinden piroliz yöntemi ile biyoyağ eldesinde katalizörün biyoyağ ürün verimine etkisi araştırılmıştır. Piroliz işlemleri sabit yataklı piroliz reaktöründe 500°C sıcaklıkta, 10°C/dk ısıtma hızında, 1L/dk azot akış hızında ve farklı oranlarda Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> katalizörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan piroliz çalışmalarında %20 katalizör oranında en yüksek % 9,8 biyoyağ verimi elde edilmiştir. Elde edilen bu biyoyağ FT-IR, GC-MS ve ısı değeri analizleri yapılarak karakterize edilmiştir. GC-MS sonuçları incelendiğinde biyoyağın alifatik, aromatik, keton, ester, fenol ve yağ asitleri gibi farklı fonksiyonel gruplara sahip bileşiklerden oluştuğu belirlenmiştir. FT-IR analizi GC-MS analiz sonuçlarını doğrulamıştır. Katalizör kullanımı biyoyağın ısı değerini artırmış ve 30,57 MJ/kg olarak tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Biyokütle, haşhaş küspesi, piroliz, biyoyağ, katalizör

## Catalytic Pyrolysis of Poppy Capsule Pulp in Fixed Bed Reactor

### Abstract

With the development of technology, science and industry in the history of humanity, it has been observed that the use of several energy types has increased. Gas, liquid (bio oil) and solid products (char) are obtained from pyrolysis process from biomass. Pyrolysis product is a good candidate for usage as fuel. In this study for this purpose, the pyrolysis of poppy capsule pulp for bio-oil production was conducted to investigate the effect of catalyst on liquid yield. Pyrolysis was carried out in a fixed bed pyrolysis reactor at a temperature of 500°C, heating rate of 10 °C / min, nitrogen flow rate of 1L / min and using different ratios of Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> as catalyst. In the pyrolysis studies, the highest oil yield, 9.8 %, was obtained at the rate of 20 % catalyst. The obtained bio oil was characterized by FTIR, GC-MS and thermal value analysis. When the GC-MS results were examined, it was found that the bio oil was composed of compounds having different functional groups such as aliphatic, aromatic, ketone, ester, phenol and fatty acids. FT-IR analysis confirmed the GC-MS analysis results. The use of catalyst increased the thermal value of the bio oil and was determined to be 30.57 MJ / kg.

**Keywords:** Biomass, poppy capsule pulp, pyrolysis, bio oil, catalyst

\* Sorumlu Yazar: Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Afyon, Türkiye, ORCID: 0000-0003-0161-1404, [nazanyilmaz@aku.edu.tr](mailto:nazanyilmaz@aku.edu.tr)

## 1. Giriş

Dünyadaki enerji ihtiyacı artan insan ihtiyaçlarına paralel olarak artmaktadır. Enerji ihtiyacı temel olarak fosil yakıtlardan karşılanmaktadır ve bu enerji kaynakları her geçen gün tükenmektedir. Tüm fosil yakıt rezervlerinin, kömür hariç, 2042 yılına kadar tükenmiş olacağı kömür rezervlerinin 2112 yılına kadar kullanılabilmesi öngörülmektedir (Abnisa ve Wan Daud, 2014). Bu sebeplerden dolayı fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılması ve enerjideki sürekliliğin sağlanması için alternatif enerji kaynaklarına olan ilgi artmıştır. Alternatif enerji kaynakları arasında, biyokütle enerjisi birçok yönden avantajlı olan bir alternatif enerji türüdür. Bu nedenle, biyokütle enerjileri üzerine araştırmalar artmaktadır (Abnisa ve Wan Daud, Shadangi ve Mohanty, 2014).

Biyokütle enerjisi fosil yakıtlara önemli bir alternatiftir. Enerji içeriği fosil yakıtlara göre daha düşük olmasına rağmen, fosil yakıtlara göre yeniden üretilebilirliği, sürdürülebilirliği, biyobozunurluğu, düşük miktarda atık gaz çıkışı gibi önemli avantajları bulunmaktadır. Çok düşük miktarlarda  $SO_2$ ,  $NO_x$  içermesi temiz bir enerji kaynağı olduğunu göstermektedir (Nayan ve ark., 2013). Biyokütle enerjisi, biyokütlenin biyoyakıt, ısı ve elektrik gibi faydalı enerji formlarına dönüşmesi ile elde edilir. Biyokütle bitkiler, tarım ürünleri, ağaçlar gibi tüm organik maddelerden elde edilir ve fotosentez yoluyla güneşin enerjisinin bitkilerde depolanmasıyla oluşmaktadır (Ellabban ve ark., 2014).

Biyokütleyle uygulanan termokimyasal dönüşüm süreçlerinden bir olan piroliz, biyokütlenin oksijensiz ortamda katı, sıvı ve gaz ürünlere dönüştürülmesi işlemidir. Piroliz sırasında, çok sayıda reaksiyon meydana gelir. Yüksek molekül ağırlıklı bileşikler daha düşük molekül ağırlıklı kısa zincirli moleküller oluşturmak üzere parçalanırlar. Yoğuşabilen sıvı hidrokarbonlara pirolitik yağ olarak elde edilir. Pirolitik yağın miktarı ve kalitesi biyokütlenin bileşimine ve yağ içeriğine dayanmaktadır (Shadangi ve Mohanty, 2014). Biyokütle, temel olarak üç ana polimerden oluşmaktadır; selüloz, lignin ve hemiselüloz. Piroliz ile biyokütle ayrışmasının temel mekanizmaları ikiye ayrılır. Birincil mekanizmalar çar (katı) oluşumu, depolimerizasyon ve fragmentasyondur. İkincil mekanizmalar ise kraking ve yeniden polimerleşmedir (Collard ve Blin, 2014). Sonuç olarak, biyokütle kimyasal içeriğinden dolayı enerji üretimi için uygun bir maddedir. Optimum piroliz koşullarının tespit edilmesi ve uygulanması farklı biyoküteller için irdelenmesi gereken önemli bir konudur.

Literatürde farklı biyokütellerin pirolizi ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Pirolizi çalışılan bazı biyoküteller susam sapı (Ateş ve ark., 2004), şeker pancarı küspesi (Erlich et al., 2005), pamuk çekirdeği küspesi (Pütün ve ark., 2006), nar çekirdekleri (Uçar ve Karagöz, 2009), demirhindi çekirdekleri (Morales ve ark., 2014) ve mahua çekirdekleridir (Shadangi ve Mohanty, 2014). Literatürde haşhaş küspesinin pirolizi üzerine çok sayıda çalışma bulunmamaktadır. Haşhaş kapsülü küspesi, Afyon Alkoloid Fabrikasının temel atığıdır. Fabrika 30 yıl boyunca çalışmakta ve sürekli olarak atık sahasına küspe biriktirmektedir. Bu biyokütlenin pirolizi ile yakıtla dönüştürülmesi önemli bir konudur ve bir önceki çalışmamızda (Hopa ve ark. 2016), haşhaş kapsülü küspesi 350-500°C sıcaklık aralığında 10°C/dk hızla pirolize tabi tutulmuştur. Biyoyağ üretim verimi ve özellikleri irdelenmiştir. Bu çalışmada ise haşhaş kapsülü küspesinin pirolizinin katalizör ilavesi ile iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Alkali bileşiklerinin çeşitli biyokütellerin pirolizinde ayrışmayı kolaylaştırıldığı, ayrışma süresini kısalttığı yönünde literatür çalışmaları bulunmaktadır (K. Raveendran ve ark., 1995, ve Imran ve ark., 2014). Shah ve ark., 2015 kavak odunu pirolizinde katalizör olarak  $K_2CO_3$  kullanımının piroliz işlemini hızlandırdığını tespit etmişlerdir (Shah ve ark., 2015). Benzer şekilde Safar ve arkadaşları, 2019  $K_2CO_3$  ilavesinin biyokütlenin piroliz sırasındaki reaktivitesini artırdığını gözlemlemişlerdir (Safar ve ark., 2019). Bir diğer çalışmada  $Na_2CO_3 / \gamma-Al_2O_3$  katalizör sisteminin piroliz sonrası elde edilen biyoyağın kalorifik değerini artırdığı görülmüştür (Nguyen ve ark., 2013). Literatür çalışmaları incelendiğinde, alkali metal iyonlarının piroliz işlemine olan olumlu etkileri oldukça görülmektedir. Bu çalışmada, Afyonkarahisar bölgesinin önemli miktardaki yerel atığı olan haşhaş küspesinin pirolizinde daha önce etkileri incelenmemiş olan  $Na_2CO_3$ 'ün katalizör olarak kullanımı gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın temel amacı,  $Na_2CO_3$  katalizörü kullanılarak haşhaş kabuğu küspesi pirolizinde sıvı ürün verimini artırmak olmuştur ve en yüksek verim ile elde edilen sıvı ürünün (biyoyağ) kalorifik değeri belirlenmiş ve GC-MS, FT-IR yöntemleri ile karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Yapılan çalışmada kullanılan haşhaş kapsülü küspesi Afyon Alkaloidleri Fabrikasından temin edilmiştir. Fabrikadan alınan haşhaş kapsülü küspesi piroliz işlemi öncesinde 100 °C sıcaklıkta etüvde kurutulmuştur. Katalizör olarak kullanılan toz haldeki  $Na_2CO_3$  Eti Soda A.Ş., Beypazarı firmasından temin edilmiştir. Katalizör tane boyutu  $600 > d > 150 \mu m$  dir. Çözücü olarak diklorometan (Merck) kullanılmıştır.

### 2.2. Metot

#### 2.2.1. Hammaddenin Pirolizi

Hammadde olarak seçilen haşhaş kapsülü küspesinin piroliz işlemleri; sabit yataklı piroliz reaktöründe bir önceki çalışmamızda (Hopa vd., 2016) belirlenen optimum piroliz koşulları olan 500 °C piroliz sıcaklığında, 1L/dk azot akış hızında ve 10 °C /dk ısıtma hızında gerçekleştirilmiştir. Piroliz işlemlerinde 50 g haşhaş küspesi ve katalizör olarak da  $Na_2CO_3$  kullanılmıştır. Katalizör oranının biyoyağ verimi üzerine etkisini belirlemek amacıyla % 0, % 5, % 10, % 20, % 30, % 40 ve % 50 olmak üzere farklı katalizör oranlarında deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Haşhaş ve katalizör homojen olacak şekilde karıştırılarak reaktör içerisine yerleştirildikten sonra 10 °C /dk ısıtma hızı ile piroliz sıcaklığı olan 500 °C 'ye çıkarılmış ve bu sıcaklıkta 20 dk beklenilmiş ve sonrasında piroliz işlemi sonlandırılmıştır. Yoğuşturucuda

biriken sıvı ürün (biyoyağ) diklorometan ile yıkanarak alınmış ve sıvı toplama kabında biriken biyoyağ ile birleştirilmiştir. Biyoyağ içerisindeki su, ayrıma hunisi kullanılarak ayrılmış ve tartılarak miktarı belirlenmiştir. Biyoyağ içerisindeki çözücü ise rotary evaporatör kullanılarak uzaklaştırılmış ve miktarı belirlenmiştir. Reaktör soğutulduktan sonra açılarak içerisinde katı ürün (char) alınmış ve tartımı yapılarak miktarı belirlenmiştir. Gaz ürün miktarı ise toplam kütle denkliği kullanılarak bulunmuştur. Farklı katalizör miktarlarında deneyler tekrarlanmış ve biyoyağ, char ve gaz ürün verimleri hesaplanmıştır.

### 2.2.2. Biyoyağın Karakterizasyonu Çalışmaları

Farklı katalizör miktarlarının haşhaş küspesi pirolizi sonucu elde edilen biyoyağ verimine etkisinin incelendiği çalışmada; en yüksek biyoyağ verimin görüldüğü katalizör miktarında elde edilen biyoyağı karakterize etmek amacıyla GC-MS, FT-IR, ısı değer analizleri yapılmıştır.

#### 2.2.2.1. GC-MS Analizi

Biyoyağın kimyasal bileşenleri Shimadzu GCMS-QP2020 cihazı kullanılarak tespit edilmiştir. GC-MS analizleri Tablo 1’ de verilen koşullarda gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 1.** GC-MS koşulları

Cihaz		Agilent HP-5MS
<b>Koşullar</b>		
Kolon sıcaklığı		45 °C
Enjeksiyon modu		Splitless
Enjeksiyon sıcaklığı		250 °C
Akış kontrol modu		Basınç
Kolon akışı		1.03 mL/dk
Taşıyıcı gaz		He 99.99% saflıkta
<b>Kolon sıcaklık koşulları</b>		
Hız	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (dak)
	45	4
3	280	30

#### 2.2.2.2. FT-IR Analizi

Biyoyağın yapısında bulunan fonksiyonel grupların belirlenmesi amacıyla FTIR analizi yapılmıştır. Analiz PERKIN ELMER model Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spektrometre cihazı kullanılarak yapılmıştır.

#### 2.2.2.3. Isıl Değer Analizi

Piroliz sonucu elde edilen biyoyağın ısı değerinin belirlenmesi için IKA WERKE marka kalorimetre cihazı kullanılmış ve biyoyağın kalorifik değeri belirlenmiştir.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

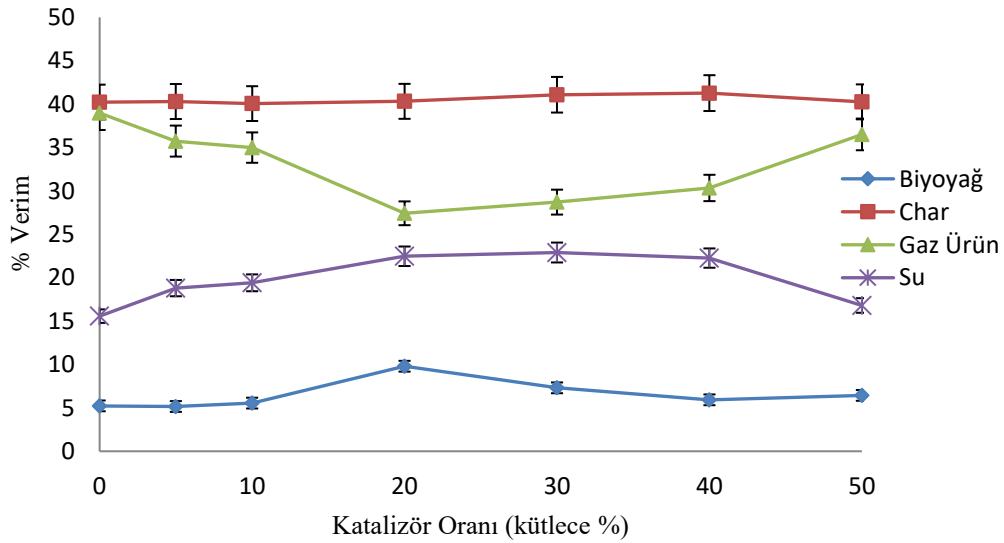
#### 3.1 Piroliz Çalışmasının Sonuçları

Piroliz çalışmalarının tamamı, 500 °C piroliz sıcaklığında, 10 °C/dk ısıtma hızında ve 20 dk bekleme süresinde gerçekleştirilmiştir. Farklı katalizör oranlarında yapılan deneyler sonucunda elde edilen sıvı ürün, katı ürün ve gaz ürün oranları

Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2 Haşhaş küspesi piroliz çalışma sonuçları

Katalizör/Biyokütle Oranı (kütlece %)	Biyoyağ (kütlece %)	Katı Ürün (kütlece %)	Gaz Ürün (kütlece %)	Su (kütlece %)
0	5,23	40,23	38,97	15,57
5	5,16	40,3	35,74	18,8
10	5,55	40,06	34,99	19,41
20	9,8	40,32	27,42	22,47
30	7,31	41,08	28,71	22,9
40	5,93	41,27	30,34	22,26
50	6,44	40,26	36,51	16,8



Şekil 1 Katalizör oranının piroliz ürünleri verimine etkisi.

Şekil 1' de katalizör oranının artışıyla birlikte piroliz ürünlerinin verimlerindeki değişimler gösterilmiştir. Piroliz işleminde katalizör kullanılmadığında sıvı ürün verimi % 5 dolaylarındadır. Bu değer katalizör miktarı % 5 ve % 10 olduğunda yaklaşık olarak aynı seviyede kalmaktadır. Ancak  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  miktarı % 20' ye artırıldığında sıvı ürün verimi yaklaşık olarak iki katına çıkarak % 9,8 seviyesine ulaşmıştır. Katalizör miktarının sıvı ürün verimine etkisinin ifade edildiği Şekil 1 incelendiğinde en yüksek biyoyağ miktarına ağırlıkça % 20 katalizör kullanıldığında ulaşıldığı görülmektedir. Alkali metal katalizörleri biyokütle içerisindeki selülozik bileşiklerin yapısındaki bağların kırılmasını kolaylaştırarak piroliz işlemini hızlandırmaktadır (Safar ve ark., 2019). Katalizörün yarattığı bu etki sıvı ürün veriminde artışa neden olmaktadır. Elde edilen sonuçlar literatürde yer alan alkali bileşiklerinin çeşitli biyokütlelerin pirolizinde ayrışmayı kolaylaştırıldığı, ayrışma süresini kısalttığı yönünde çalışmalar ile uyumludur (K. Raveendran ve ark., 1995, ve Imran ve ark., 2014).



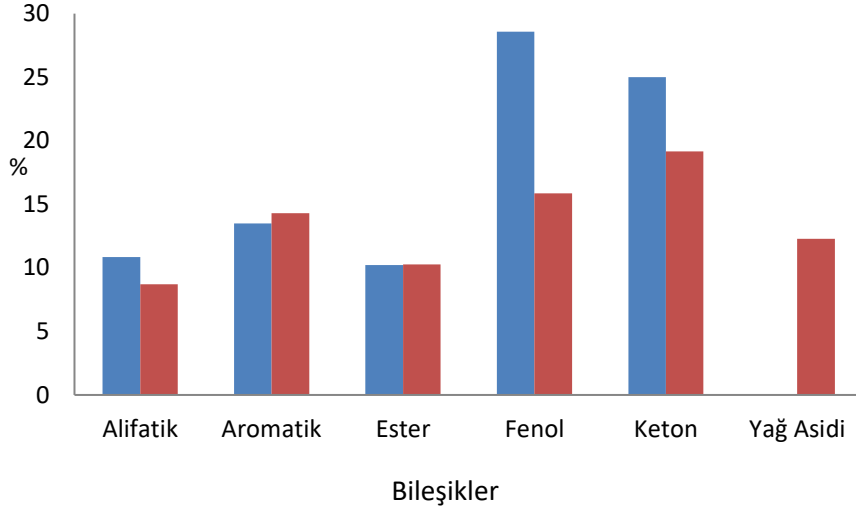
### 3.2. Biyoyağın Karakterizasyon Çalışmaları Sonuçları

#### 3.2. 1. GC-MS Analiz Sonuçları

Katalizör kullanılarak yapılan piroliz işlemi sonucunda elde edilen biyoyağın içerisindeki bileşenler Tablo 3’de verilmiştir. Katalizörlü ve katalizörsüz yapılan piroliz işlemi sonucunda elde edilen biyoyağların GC-MS sonuçları ile tespit organik bileşik içerikleri Şekil 2’de verildiği gibi sınıflandırılmış ve karşılaştırılmıştır.

Tablo 3. Biyoyağa ait GC-MS Analiz Sonuçları

RT min	Pik Alanı (%)	Bileşik	Molekül Formülü	RT min	Pik Alanı (%)	Bileşik	Molekül Formülü
23,15	2,69	9,12-Oktadekadien-1-ol, (Z,Z)-	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O	9,82	0,74	Fenol, 2,5-dimetil-	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O
23,06	1,97	9-Oktadekanoik asit, metil ester	C <sub>19</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>	9,66	2,93	Fenol, 3-etil-	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O
22,99	1,25	9,12-Oktadekadienoik asit (Z,Z)-, metil ester	C <sub>19</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	9,36	2,11	2-Metillinden	C <sub>10</sub> H <sub>10</sub>
20,96	2,69	Hekzadekanoik asit, metil ester	C <sub>17</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	9,10	1,17	Fenol, 2-etil-	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O
20,67	2,28	2-Pentadekanon	C <sub>15</sub> H <sub>30</sub> O	8,95	1,04	Sikloheksan, (1-metiletiliden)-	C <sub>9</sub> H <sub>16</sub>
20,30	0,42	1,2-Benzenedikarboksilik asit, bis(2-metilpropil) ester	C <sub>16</sub> H <sub>22</sub> O <sub>4</sub>	8,49	1,70	Fenol, 2,5-dimetil-	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O
20,17	0,82	Hekzametil-piranoindan	C <sub>18</sub> H <sub>26</sub> O	8,17	2,29	Fenol, 2-metoksi	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>
19,94	0,59	2-Pentadekanon, 6,10,14-trimetil-	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O	7,95	7,59	Fenol, 3-metil-	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O
19,85	0,25	Neoftadien	C <sub>20</sub> H <sub>38</sub>	7,66	1,58	2-Siklopenten-1-one, 2,3,4-trimetil-	C <sub>8</sub> H <sub>12</sub> O
18,41	1,03	1-Hekzadekanol, 3,7,11,15-tetrametil-	C <sub>20</sub> H <sub>42</sub> O	7,55	6,02	Fenol, 2-metil-	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O
17,78	0,78	n-Heksilsalisilat	C <sub>13</sub> H <sub>18</sub> O <sub>3</sub>	7,30	1,30	1H-Indene	C <sub>9</sub> H <sub>9</sub> Cl
16,60	0,42	1,2-Benzendikarboksilik asit, dietil ester	C <sub>12</sub> H <sub>14</sub> O <sub>4</sub>	7,01	0,97	2-Siklopenten-1-one, 2-hidroksi-3-metil	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>
16,57	0,32	Heptadekan	C <sub>21</sub> H <sub>44</sub>	6,95	0,66	Bisiklo[2.2.2]oktan, 2-metil-	C <sub>9</sub> H <sub>16</sub>
16,46	0,55	1-Nonadekanol	C <sub>19</sub> H <sub>40</sub> O	6,47	0,95	2,3-Dimetil-2-siklopenten-1-one	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> O
15,07	0,81	Hekzadekan	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	6,40	2,00	2-Siklopenten-1-one, 3,4-dimetil-	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> O
14,96	1,26	1-Oktadeken	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub>	6,35	1,06	x-ethyl- x -metil- benzen	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>
13,50	1,13	Tetradekan	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	6,31	0,91	2-Oktanon	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O
13,45	0,93	1H-Indol, 3-metil-	C <sub>9</sub> H <sub>9</sub> N	6,23	5,14	Fenol	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O
13,38	0,71	1-Tetradekanol	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub> O	5,81	0,34	2H-Piran-2-one, tetrahydro	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>
12,15	1,18	Naftalen, 2-metil-	C <sub>11</sub> H <sub>10</sub>	5,73	0,48	1-Hepten,2-metil-	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>
11,91	2,30	1H-Indole	C <sub>8</sub> H <sub>7</sub> N	5,39	5,90	2-Siklopenten-1-one, 2,3-dimetil-	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> O
11,85	2,31	Naphthalen, 1-metil-	C <sub>11</sub> H <sub>10</sub>	5,01	1,25	2(3H)-Furanon, dihydro	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>
11,63	1,40	1H-Inden-1-one, 2,3-dihidro-	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O	4,86	7,48	2-Siklopenten-1-one, 3-metil-	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O
10,76	0,99	Fenol, 2,3,6-trimetil-	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> O	4,31	0,44	2-Siklopenten-1-one, 2-metil-	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O
9,90	1,76	Azulen	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	4,23	0,45	Benzen, 1,2-dimetil	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>
				4,11	0,82	2-Furanmetanol	C <sub>5</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>

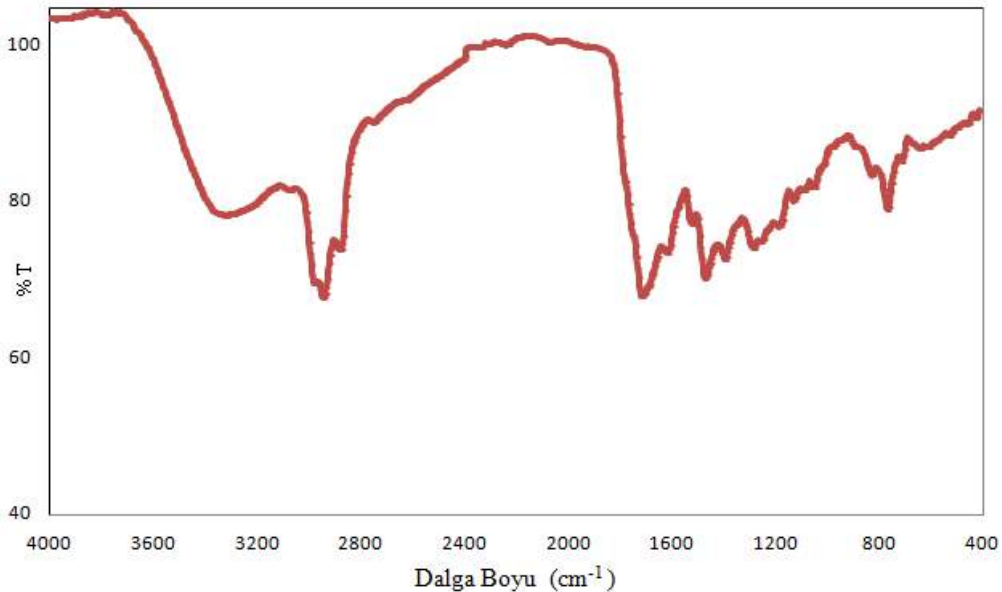


Şekil 2 GC- MS sonuçları mavi; katalizörlü piroliz, kırmızı: katalizörsüz piroliz işlemi

Şekil 2’de verilen GC-MS sonuçları incelendiğinde biyoyağın alifatik, aromatik, keton, ester, fenol ve yağ asitleri gibi farklı fonksiyonel gruplara sahip bileşiklerden oluştuğu belirlenmiştir. Katalizör ile yapılan piroliz işlemi sonucunda elde edilen biyoyağ içerisindeki fenol oranının %15’den %30’ a yükseldiği görülmektedir. Alkali metal katalizörlerinin biyokütle yapısındaki lignin içerisindeki bağların ayrışmasını kolaylaştırarak fenol içeriğinde artışa sebep olduğu bilinmektedir (Nzihou ve ark., 2019). Katalizör etkisiyle miktarı artan bir diğer bileşik grubu da ketonlar olmuştur. Nguyen ve arkadaşları, 2013 biyokütle pirolizinde  $\text{Na}_2\text{CO}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  katalizörü kullandıkları çalışmalarında benzer şekilde keton miktarının arttığını gözlemlemişlerdir. Katalizör kullanılmaksızın elde edilen biyoyağ içerisinde bulunan yağ asitleri, katalizör kullanılması durumunda katalizör yüzeyinde ketonlara dönüşmektedir (Nguyen ve ark., 2013).

### 3.2. 2. FT-IR Analiz Sonuçları

Biyoyağın yapısındaki fonksiyonel grupların belirlenmesi amacıyla yapılan FT-IR analizi sonucu Şekil 4.’de verilmiştir. Şekil 4 incelendiğinde spektrumda  $3200\text{-}3400\text{ cm}^{-1}$  arasındaki pik O-H gerilme titreşimlerine aittir. Bu durum yapıda alkol, fenol ve karboksilik asit bileşiklerinin olduğunu gösterir.  $2800\text{-}3000\text{ cm}^{-1}$  arasında yer alan pikler ise alifatik ve aromatik C-H gerilme titreşimlerine aittir. Biyoyağın yapısındaki karbonil gruplarının varlığı da  $1680\text{-}1720\text{ cm}^{-1}$  arasındaki piklerden anlaşılmaktadır. Benzer şekilde spektrumda  $1615\text{-}1650\text{ cm}^{-1}$  arasındaki pikler yapıda alkenlerin ve aromatik bileşiklerin varlığını göstermektedir.  $1460$  ve  $1380\text{ cm}^{-1}$ ’de yer alan pikler yapıdaki alifatik C-H gruplarının eğilme titreşimlerine aittir.  $1220$  ve  $1270\text{ cm}^{-1}$  arasındaki pikler C-O gerilme ve O-H eğilme titreşimlerine ait piklerdir.



Şekil 4 FTIR analiz sonuçları

### 3.2.3. Isıl Değer Analiz Sonuçları

Katalizörlü piroliz işlemi sonucunda en yüksek biyoyağ elde edilen % 20 katalizör oranındaki biyoyağın kalorifik değeri tespit edilmiştir. Alt ısıl değerinin 30,57 MJ/kg olduğu görülmüştür. Katalizörsüz piroliz işlemi sonucunda elde edilen biyoyağın kalorifik değeri ile kıyasladığımızda (26,94 MJ/kg) ısıl değerinin arttığı görülmüştür. Katalizör kullanımı ile biyoyağ içerisindeki alifatik hidrokarbonların artışı ve asitlerin keton gibi daha düşük oksijen içeren yapılara dönüşmesi hidrokarbon miktarını artırarak kalorifik değeri yükselten sebeplerdir (Nguyen ve ark., 2013) Bu değerler fuel oilin alt ısıl değeri (40,19 MJ/kg) ile karşılaştırıldığında biyoyağın ısıl değerinin düşük olduğunu belirlenmiştir. Bu nedenle fuel oil yerine doğrudan kullanımı uygun olmasa da yakıt ile belli oranlarda karıştırılarak kullanılabilirdiği düşünülmektedir.

## 4. Sonuç

Bu çalışmada farklı katalizör miktarının haşhaş küspesi pirolizi ile elde edilen biyoyağ verimi üzerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla 500 °C sıcaklıkta 10 °C/ dk ısıtma hızında ve 1L/dk azot akış hızında piroliz işlemleri gerçekleştirilmiştir. %0,5,10,20,30,40,50 olmak üzere 7 farklı Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> katalizör oranında denemeler yapılmış en yüksek biyoyağ elde edilen katalizör miktarı belirlenmiştir. En yüksek biyoyağ verimindeki biyoyağa GC-MS, FT-IR ve ısıl değer analizleri yapılarak karakterize edilmiştir.

Piroliz çalışmaları sonuçları incelendiğinde en yüksek biyoyağ veriminin (%9,8) %20 oranında katalizör kullanıldığında elde edildiği görülmüştür. Katalizör kullanılmadığında elde edilen % 5,23 olan biyoyağ veriminin kullanılan katalizör miktarının %20'ye çıkarılması ile arttığı görülmektedir. Kullanılan katalizörün piroliz işlemi sırasında ayrışmayı kolaylaştırdığı ve böylelikle biyoyağ ürün verimi artırdığını söyleyebiliriz.

Biyoyağın içerdiği bileşenlerin belirlenmesi amacıyla yapılan GC-MS analiz sonuçlarına göre, katalizörsüz çalışma referans alındığında alifatik bileşiklerde %8,71'den %10,86'ya, fenol bileşiklerde %15,87'den %28,57'ye ve keton da ise %19,15'den 25,01'e yükselme olduğu saptanmıştır. Yapılan FT-IR analizi sonucu elde edilen spektrum incelendiğinde, biyoyağın yapısında alkol, fenol, karboksilik asit ve aromatik bileşiklerin olduğunu göstermiştir. FT-IR analiz sonuçları ile GC-MS analiz sonuçları birbirini doğruladığı görülmektedir.

Biyoyağın ısıl değerinin belirlenmesi için yapılan analiz sonucunu incelediğimizde katalizör kullanıldığında biyoyağın ısıl değerinin 26,94 MJ/kg 'dan 30,57 Mj/kg 'a arttığı görülmüştür. Katalizör kullanımı biyoyağ verimini artırmak ile birlikte biyoyağın kalorifik değerini de artırmıştır.

## Kaynakça

- Agrawalla, A., Kumar, S., & Singh, R. K. (2011). Pyrolysis of groundnut de-oiled cake and characterization of the liquid product. *Bioresource technology*, 102(22), 10711-10716.
- Ateş, F., Pütün, E., & Pütün, A. E. (2004). Fast pyrolysis of sesame stalk: yields and structural analysis of bio-oil. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 71(2), 779-790.
- Collard, F. X., & Blin, J. (2014). A review on pyrolysis of biomass constituents: Mechanisms and composition of the products obtained from the conversion of cellulose, hemicelluloses and lignin. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 594-608.
- Hopa, D. Y., Yılmaz, N., Alagöz, O., Dilek, M., Helvacı, A., & Durupınar, Ü. (2016). Pyrolysis of poppy capsule pulp for bio-oil production. *Waste Management & Research*, 34(12), 1316-1321.
- Ellabban, O., Abu-Rub, H., & Blaabjerg, F. (2014). Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 748-764.
- Erlich, C., Öhman, M., Björnbom, E., & Fransson, T. H. (2005). Thermochemical characteristics of sugar cane bagasse pellets. *Fuel*, 84(5), 569-575.
- Imran, A., Bramer, E. A., Seshan, K., & Brem, G. (2014). High quality bio-oil from catalytic flash pyrolysis of lignocellulosic biomass over alumina-supported sodium carbonate. *Fuel processing technology*, 127, 72-79.
- Raveendran, K., Ganesh, A., & Khilar, K. C. (1995). Influence of mineral matter on biomass pyrolysis characteristics. *Fuel*, 74(12), 1812-1822.
- Morales, S., Miranda, R., Bustos, D., Cazares, T., & Tran, H. (2014). Solar biomass pyrolysis for the production of bio-fuels and chemical commodities. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 109, 65-78.
- Nayan, N. K., Kumar, S., & Singh, R. K. (2013). Production of the liquid fuel by thermal pyrolysis of neem seed. *Fuel*, 103, 437-443.
- Nguyen, T. S., Zabeti, M., Lefferts, L., Brem, G., & Seshan, K. (2013). Conversion of lignocellulosic biomass to green fuel oil over sodium based catalysts. *Bioresource technology*, 142, 353-360.
- Nzihou, A., Stanmore, B., Lyczko, N., & Minh, D. P. (2019). The catalytic effect of inherent and adsorbed metals on the fast/flash pyrolysis of biomass: A review. *Energy*, 170, 326-337.
- Pütün, E., Uzun, B. B., & Pütün, A. E. (2006). Fixed-bed catalytic pyrolysis of cotton-seed cake: effects of pyrolysis temperature, natural zeolite content and sweeping gas flow rate. *Bioresource Technology*, 97(5), 701-710.

- Safar, M., Lin, B. J., Chen, W. H., Langauer, D., Chang, J. S., Raclavska, H., ... & Pétrissans, M. (2019). Catalytic effects of potassium on biomass pyrolysis, combustion and torrefaction. *Applied Energy*, 235, 346-355.
- Shadangi, K. P., & Mohanty, K. (2014). Comparison of yield and fuel properties of thermal and catalytic Mahua seed pyrolytic oil. *Fuel*, 117, 372-380.
- Shah, M. H., Deng, L., Bennadji, H., & Fisher, E. M. (2015). Pyrolysis of potassium-doped wood at the centimeter and submillimeter scales. *Energy & Fuels*, 29(11), 7350-7357.
- Uçar, S., & Karagöz, S. (2009). The slow pyrolysis of pomegranate seeds: The effect of temperature on the product yields and bio-oil properties. *Journal of analytical and applied Pyrolysis*, 84(2), 151-156.



# Ark Flaş Arızası Azaltma Yöntemlerinin Etkisinin İncelenmesi: Endüstriyel Tesis için Örnek Uygulama

Serhan Baykul<sup>1\*</sup>, Oktay Arıkan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3506-7849)

<sup>2</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3304-3766)

(İlk Geliş Tarihi 25 Eylül 2019 ve Kabul Tarihi 2 Kasım 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.624709)

**ATIF/REFERENCE:** Baykul, S., & Arıkan, O. (2019). Ark Flaş Arızası Azaltma Yöntemlerinin Etkisinin İncelenmesi: Endüstriyel Tesis için Örnek Uygulama. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 589-605.

## Öz

Elektrik güç sistemlerinde enerji kesintilerine sebep olan, ekipmanlara zarar veren, can ve mal kayıplarına neden olan en önemli arızalardan biri ark arızalarıdır. Güç sistemlerinde artan enerji talebi, kompleksleşen sistemler dolayısıyla ark arızası ve ark flaş patlamalarının etkileri giderek artmakta ve bu da azaltıcı önlemlerin alınması gerekliliğini beraberinde getirmektedir. Bu çalışmada, ark flaş analizleri için IEEE 1584 (2002)'de verilen hesaplama yöntemleri tanıtılarak, ark flaş arızasının etkilerini önleyici ve azaltıcı yöntemler sunulmuştur. Ayrıca, örnek bir endüstriyel tesiste ark flaş hesaplamaları ve tehlike analizleri gerçekleştirilmiştir. Ark flaş arızası etkilerinin azaltılabilmesi için bara ayırma, röle ayar değerlerinin değiştirilmesi ve arıza akım sınırlayıcı reaktör kullanılması yöntemlerinin etkileri incelenmiştir. Yapılan analizler farklı yöntemler ile ark flaş patlamalarının etkisinin azaltılabileceğini göstermektedir. Ark flaş hesaplamaları ve risk analizleri Electrical Power System Analysis & Operation Software (ETAP) programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** ark, ark flaş arızası, ark flaş patlamaları, ark flaş arızaları etkisinin azaltılması

## Investigation of the Effect of Arc Flash Fault Reduction Methods: Sample Application for Industrial Plant

### Abstract

One of the important faults which cause power failure, equipment damage, loss of life and property in electrical power systems is arc faults. Due to increasing energy demand in power systems and complexity of the systems, the effects of arc failure and arc flash bursts are increasing. Therefore, it brings increasing need for taking measures. In this study, after the calculation methods in IEEE 1584 (2002) for arc flash analysis are shown, methods to prevent and mitigate the effects of arc flash failure are indicated. In addition, arc flash calculations and hazard analyzes were performed in a sample industrial plant. In order to reduce the effects of arc flash failure, the effect of busbar separation, change of relay setting values and the use of fault current limiting reactor were investigated. It has been shown that the effect of arc flash explosions can be reduced by different methods. Arc flash calculations and risk analyzes were performed using the Electrical Power System Analysis & Operation Software (ETAP) program.

**Keywords:** arc, arc flash failure, arc flash explosion, reduction of arc flash failures effect

\* Sorumlu Yazar: Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0003-3506-7849, [serhanbaykul@gmail.com](mailto:serhanbaykul@gmail.com)



## 1. Giriş

Ark, hava veya gaz gibi izolasyon malzemesi içerisinde, iki iletken arasında meydana gelen bir elektriksel boşalma olarak tanımlanabilir. Elektrik güç sistemlerinde çeşitli sebeplerden dolayı kısa devre sonucunda meydana gelen ark arızaları esnasında kontrol edilemeyen bir enerji, basınç, ısı ve/veya ışık ortaya çıkar.

Ark arızası sonucu ortaya çıkan ark enerjisinin yıkıcı etkileri olabilmektedir. Ortaya çıkan bu enerjinin kaynağı olan, ark akımının hesaplanabilmesi ve gerekli önlemlerin alınabilmesi için IEEE 1584, NFPA 70E gibi standartlar oluşturulmuştur. Ayrıca, literatürde bu standartlara uygun hesaplamaları, analizleri içeren ve elde edilen sonuçlar ışığında ark arızalarının etkilerini önleyecek veya azaltacak önerilerde bulunan birçok çalışma vardır. Bu çalışmalarda, ağırlıklı olarak ark enerjisi hesaplamaları ve analizleri yapıldıktan sonra arkın zararını azaltacak bir yöntem seçilmiş veya yeni bir yöntem önerilmiş ve bu yöntemle odaklanılmıştır.

Ark arızalarının etkilerinin hesaplanabilmesi ile alakalı ilk çalışmalardan biri Ralph H. Lee'nin 1982'de yayınladığı, "The Other Electrical Hazard: Electric Arc Blast Burns" adlı çalışma olarak kabul edilmektedir [1]. Ralph Lee, bu çalışmasında ark flaş arızalarının etkilerini ve önlemlerini incelemiştir. Lee Methodu uzun yıllar literatürde ark enerjisi hesaplaması için ilk ve tek kaynak olarak yerini almıştır. Fakat, ark akımını ve kapalı ortamlardaki ark enerjisini hesaplamak için bir yöntem sunmaması sebebiyle eksik kalmıştır.

2002 yılında ise şu ana kadar birçok çalışmada kullanılmış ve halen de kullanılmakta olan, ark flaş arıza akımı ve enerjisi hesaplama yöntemlerini yapılan analizler ve testler ile ortaya koyan IEEE 1584-2002 standardı yayınlanmıştır [2]. Bu standart aynı zamanda 15 kV üstü uygulamalar için Lee Metodunu da içermektedir. Yayımlandığı tarihten itibaren yapılan birçok çalışmada referans alınmıştır.

Bob Hughes, yaptığı çalışmada optik ark flaş belirleme sensörü ile sahada yapılan örnek bir uygulamada ark flaş enerjisinin 8,88 cal/cm<sup>2</sup>'den 0,88 cal/cm<sup>2</sup>'ye düştüğünü yani yaklaşık %90 bir azalma sağlandığını göstermiştir [3]. Robert Wilson ve Christopher Inshaw ise çalışmalarında ark flaş hesaplamalarını ve çözüm yöntemlerini özetlemiş, ağırlıklı olarak optik sensörlerle arkı çabuk tespit edip kesiciye açma sinyali gönderen röleler ile ark süresini kısaltarak ark enerjisini azaltan yöntem üzerinde durmuştur. Kesicinin 100-150 ms arasında açması sayesinde ortaya çıkabilecek enerjinin azaltılabildiğini göstermiştir [4]. Jonny Simms ve Gerald Johnson da çalışmalarında ark flaş ile alakalı tanımlamaları ve standartları belirttikten sonra farklı röle teknikleri ve koordinasyonları ile ark süresini 0,2 sn'ye düşürerek ark flaş enerjisinin azaltımını örneklerle göstermiştir [5].

[6]'da ark flaş analizi dağıtık üretim sistemi içeren bir sistemde incelenmiş ve dağıtık üretim sistemlerinin arıza akımına katkısından dolayı, eğer sistem koruma elemanları ters zaman eğrisi karakteristiğine sahip ise; arıza akımının artması, ark süresini azalttığı dolayısıyla da ark enerjisini azalttığı gözlemlenmiştir.

Dağıtık üretim sistemlerinin şebekeye entegrasyonu konusunda yapılan bir çalışma da ise, bu tesislerin bara gerilimlerine ve kısa devreye etkisi ile sistem kayıplarına katkısı incelenmiştir. Örnek sistemdeki çalışma ile dağıtık üretim sistemlerinin şebekeye bağlantısı neticesinde, gerilim regülasyonu üzerindeki olumsuz etkisi, kısa devre akımında ve enerji kayıplarında neden olduğu artış gösterilmiştir. [7]

[8]'de yapılan çalışmada, örnek bir sisteme dağıtık üretim sisteminin bağlı olmasının 3 faz kısa devre, ark akımı ve ark flaş enerjisine olan etkileri incelenmiştir. Dağıtık üretim sisteminin, sisteme bağlı olduğu durumda bazı noktalarda ark flaş enerjisinin %83'e kadar arttığı gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada, ark flaş arızaları hesaplama yöntemi verildikten sonra, ark flaş arızalarını önleyici ve azaltıcı yöntemler belirtilmiştir. Örnek bir endüstriyel tesiste yapılan ark flaş analizlerinde hem orta gerilim hem de alçak gerilim seviyesinde meydana gelen ark arızaları incelenmiştir. Ark flaş arızasından kaynaklı riskleri azaltabilmek için ise bara ayırma, röle ayar değişikliği ve akım sınırlayıcı reaktör kullanımı yöntemleri analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar yorumlanarak sunulmuştur.

## 2. Ark Flaş Hesaplama ve Analiz Yöntemi

Ark flaş hesaplamaları, tehlike analizleri ve kullanılacak ekipman seçiminde IEEE 1584-2002 ve NFPA 70E-2015 standartları temel olarak başvuru standartlarıdır. Bu çalışmada gerçekleştirilen simülasyonlarda ark flaş hesaplamaları için IEEE 1584-2002, kişisel koruyucu ekipman seviyesi ve seçimi için NFPA 70E-2015 kullanılmıştır. Analizler ETAP programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir

### 2.1. IEEE 1584-2002 Standartına Göre Hesaplama Yöntemi

"IEEE Std 1584-2002", ark flaş arıza akımı, açığa çıkan enerji ve bu enerji seviyelerine göre çalışma mesafelerinin hesaplama yöntemlerini belirleyen temel nitelikte bir standarttır.

Bu standart; arıza akımı, gerilim seviyesi, arıza temizleme süresi, ekipman tipi, topraklama biçimi ve çalışma mesafesi verilerini esas alarak ark flaş hesaplamalarına olanak sağlar. IEEE 1584-2002 standardı, 208 V-15 kV; 3 faz; 50 Hz-60 Hz; 700A- 106kA kısa devre akımı; 13mm-152mm iletkenler arası mesafe olan sistemlerde ark flaş enerjisi ve ark flaş sınırı hesaplamalarında kullanılmaktadır.

### 2.1.1. Arıza Akımının Hesaplanması

Ark arıza akımı, sistemin gerilim seviyesine göre aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanır:

1 kV altı sistemler için ark arıza akımı;

$$\log I_a = K + 0.662 \log I_{bf} + 0.0966V + 0.000526G + 0.5588V \log I_{bf} - 0.00304G \log I_{bf} \quad (2.1)$$

ifadesi kullanılarak belirlenir.

1 kV ve üstü sistemler için ark arıza akımı;

$$\log I_a = 0.00402 + 0.983 \log I_{bf} \quad (2.2)$$

yardımıyla belirlenir.

Baraların açıkta veya kapalı bir ortamda konumlanması 1 kV üstü sistemlerde hesaplamalarda bir fark yaratmamaktadır. Bu denklemlerde,

$I_a$ : ark arıza akımı [kA],

$K$ : -0,153 (açık ortamda oluşan arklar için) veya -0,097 (kapalı ortamda oluşan arklar için),

$I_{bf}$ : max arıza akımı, 3 faz kısa devre akımı (simetrik RMS) [kA],

$V$ : sistem gerilimi [kV],

$G$ : iletkenler arası açıklık [mm],

olarak tanımlanmıştır.

### 2.1.2. Ark Olay Enerjisinin Hesaplanması

Denklem 2.1 ve 2.2 yardımıyla  $I_a$  hesaplandıktan sonra ark olay enerjisinin hesaplanabilmesi için;

$$\log E_n = K_1 + K_2 + 1.081 \log I_a + 0.0011 G \quad (2.3)$$

denklemini normalize edilmiş enerjinin elde edilmesi amacı ile sunulmuştur. Bu denklemde,

$E_n$ : normalize edilmiş enerji [ $J/cm^2$ ] (0,2 saniye ark zamanı ve ark noktasından kişiye uzaklığın 610mm olduğu anda normalize edilmiş olan enerji),

$K_1$ : -0,792 (açık ortamda oluşan arklar için) veya -0,555 (kapalı ortamda oluşan arklar için),

$K_2$ : 0 (topraklanmamış veya yüksek dirençli toprak sistemleri) veya -0,113 (topraklı sistemler),

$G$ : İletkenler arası açıklık [mm],

olarak ifade edilmiştir.

$E_n = 10^{\log E_n}$  olduğundan ark olay enerjisini hesaplamak için;

$$E = 4,184 \times C_f \times E_n \times \frac{t}{0,2} \times \left(\frac{610}{D}\right)^x \quad (2.4)$$

ifadesi kullanılmaktadır.

15 kV üstü sistemler için Lee Methoduna göre;

$$E = 2,142 \times 10^6 \times V \times I_{bf} \times \left(\frac{t}{D^2}\right) \quad (2.5)$$

denklemini kullanılmaktadır.

Bu denklemlerde;

$E$ : ark enerjisi [ $J/cm^2$ ],

$C_f$ : hesaplama faktörü ( $V > 1$  kV için 1,  $V < 1$  kV için 1,5),

$E_n$ : normalize enerji yoğunluğu [ $J/cm^2$ ],

$t$ : ark süresi,

$D$ : olası ark noktasından kişiye olan uzaklık [mm],

$x$ : mesafe faktörü (Tablo 1),

olarak ifade edilmiştir.

Mesafe faktörü “x”, gerilim seviyesi, ekipman tipi ve iletkenler arası mesafeye bağlı olarak Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Ekipman Tipine Göre Belirlenen Mesafe Faktörü (x) [2]

Sistem Gerilimi [kV]	Ekipman tipi	İletkenler arası mesafe [mm]	Mesafe faktörü (x)
0,208-1	Açık hava	10-40	2,000
	Anahtarlama ekipmanı	32	1,473
	Motor Kontrol Merkezi ve paneller	25	1,641
	Kablo	13	2,000
>1-5	Açık hava	102	2,000
	Anahtarlama ekipmanı	13-102	0,973
	Kablo	13	2,000
>5-15	Açık hava	13-153	2,000
	Anahtarlama ekipmanı	153	0,973
	Kablo	13	2,000

### 2.1.3. Ark Flaş Koruma Sınırının Hesaplanması

Ark flaş koruma sınırı, ark flaş enerjisinin insanda 2. Derece yanık oluşturabilecek  $5 \text{ J/cm}^2$  ( $1,2 \text{ cal/cm}^2$ ) değerine eşit olduğu mesafedir. Bu mesafe,

$$D_B = \left[ 4,184 \times C_f \times E_n \times \left( \frac{t}{0,2} \right) \times \left( \frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}} \quad (2.6)$$

denklemleri yardımıyla hesaplanır.

15 kV üstü sistemler için Lee Methoduna göre,

$$D_B = \sqrt{2,142 \times 10^6 \times V \times I_{bf} \times \left( \frac{t}{E_B} \right)} \quad (2.7)$$

ifadesi kullanılmaktadır.

Bu denklemlerde,

$D_B$ : ark noktasından ark flaş koruma sınırına olan uzaklık [mm],

$C_f$ : hesaplama faktörü ( $V > 1 \text{ kV}$  için 1,  $V < 1 \text{ kV}$  için 1,5),

$E_n$ : normalize enerji yoğunluğu [ $\text{J/cm}^2$ ],

$V$ : sistem gerilimi [kV],

$E_B$ : ark flaş koruma sınırındaki olay enerjisi [ $\text{J/cm}^2$ ] ( $5 \text{ J/cm}^2$ ),

$t$ : ark süresi,

$x$ : mesafe faktörü (Tablo 1),

$I_{bf}$ : max arıza akımı, 3 faz kısa devre akımı (simetrik RMS) [kA],

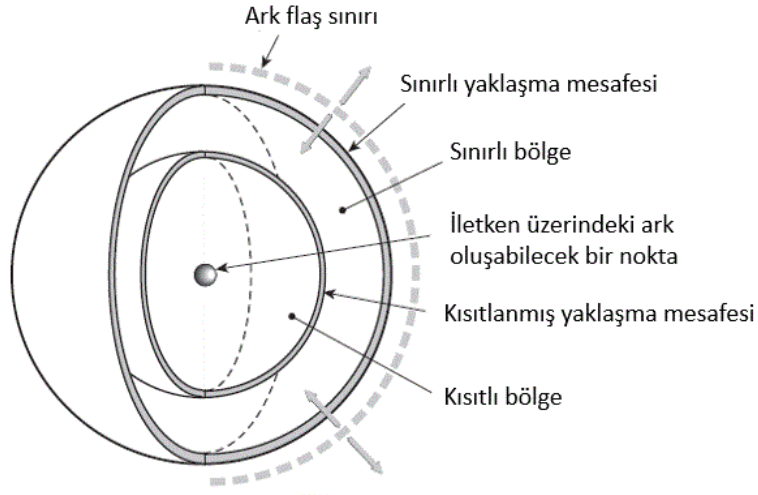
olarak tanımlanmıştır.

### 2.2. NFPA 70E Standartı

NFPA 70E (“Standard for Electrical Safety in the Workplace by National Fire Protection Association”) standartı enerjili ekipmanlarla çalışma konusunda ayrıntılı bilgiler içermektedir. Enerjili sistemlerde çalışacak kalifiye kişinin tanımını, elektriksel güvenlik prosedürlerini ve risk değerlendirmelerini açıklar. Ayrıca, ark flaş sınırı gibi temel tanımlamaları içerir. Enerji seviyelerine göre kullanılması gereken kişisel koruyucu ekipmanlarını açıklar [9].

Bu standart ark flaş sınırı ve koruyucu ekipman seçimi için belirli değerler ışığında bir tablo yöntemi önerir. Fakat, bu yöntem tüm uygulamalar için yeterli değildir. Bu yüzden standart, ark flaş hesaplamaları için IEEE 1584’ün kullanılmasını önermektedir. Bu çalışmada, NFPA 70E 2015 standartından faydalanılmıştır.

NFPA 70E Standartına göre tehlike sınır bölgeleri Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Tehlike Sınır Bölgeleri [9]

Şekil 1’de gösterilen yaklaşma mesafeleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır [9].

**Ark Flaş sınırı (Arc flash boundary):** Ark flaş enerjisinin  $5 \text{ j/cm}^2$  ( $1,2 \text{ cal/cm}^2$ ) olduğu mesafe, ark flaş sınır mesafesi olarak tanımlanmaktadır. Belirtilen mesafe eğitilmiş veya eğitimsiz herhangi bir personelin kişisel koruyucu ekipmanı olmadan enerjili bölgeye yaklaşabileceği maksimum mesafedir. Bu mesafe sistemin gerilimi, arıza akımı ve ark süresine bağlı olarak değişen bir mesafedir. Hesaplamalar ile ilgili bölümde belirtilen ark flaş çalışma mesafesini belirten sınırı ifade eder.

**Sınırlı yaklaşma mesafesi (Limited approach boundary):** Sınırlı yaklaşma mesafesi, eğitimsiz personelin yaklaşabileceği maksimum mesafedir, özel izinli durumlarda eğitimsiz personelin sınırlı yaklaşma bölgesinde veya sınırında çalışmak zorunda olduğu durumlarda eğitilmiş personel ona eşlik etmeli ve onu olası tehlikelere karşı uyarmalıdır.

**Kısıtlanmış yaklaşma mesafesi (Restricted approach boundary):** Kısıtlanmış yaklaşma sınırı, sadece eğitilmiş personelin özel durumlarda kişisel koruyucu ekipmanı ile aşabileceği mesafedir. Kısıtlanmış bölgede oluşabilecek elektrik arkından kaynaklı ciddi manada bir risk vardır.

NFPA 70E, ark flaş enerji seviyesine göre kişisel koruyucu ekipmanları 4 kategoriye ayırır. Tablo 2’de farklı enerji seviyelerine göre kişisel koruyucu ekipman gerekliliği gösterilmiştir.

Tablo 2. Ark Flaş Kategorisine Göre Kişisel Koruyucu Ekipmanlar [9]

Kişisel Koruyucu Kıyafet veya ekipman tipi	Ark Flaş Kişisel Koruyucu Ekipman (PPE) Kategorisi			
	1 (4 cal/cm <sup>2</sup> )	2 (8 cal/cm <sup>2</sup> )	3 (25 cal/cm <sup>2</sup> )	4 (40 cal/cm <sup>2</sup> )
Ark'a dayanıklı uzun kollu gömlek	x	x	x	x
Ark'a dayanıklı uzun kollu ceket			x	x
Ark'a dayanıklı pantolon	x	x	x	x
Ark'a dayanıklı özel pantolon			x	x
Ark'a dayanıklı tulum			x	x
Ark'a dayanıklı başlık		Gerektiğinde	x	x
Yüz koruyucu	x	x	x	x
Koruyucu gözlük	x	x	x	x
Baret, kask	x	x	x	x
Kulak koruyucu	x	x	x	x
Koruyucu eldiven	x	x	x	x
Deri ayakkabı	Gerektiğinde	x	x	x

Şekil 2’de kişisel koruyucu ekipmanı ile uygun çalışma mesafesinde çalışan personele ait örnek gösterim verilmiştir.



*Şekil 2. Çalışan Personelin Uygun Çalışma Mesafesinde Doğru Ekipman ile Müdahale Örneği [10]*

### **3. Ark Arızalarını Önleyici ve Azaltıcı Yöntemler**

Elektrik güç sistemlerinde çeşitli sebeplerden dolayı kısa devre sonucu meydana gelen ark arızaları esnasında kontrol edilemeyen bir enerji, ısı, basınç, ışık oluşur. Bazı durumlarda arıza sonucu yanan, kopan şarapnel parçalarının uçuşması ve toksik gaz oluşumu ark flaş arızalarının etkilerini arttırmaktadır.

Ark arızalarının bu zararlı etkileri ile risklerini azaltmak ve ark arızalarını önlemek için kullanılan çeşitli yöntemler vardır. Bunlardan bazıları;

- **Eğitim:** Birçok arızada insanoğlu direkt ya da dolaylı olarak en büyük etkidir. Bu yüzden elektrik güç sistemlerinde çalışan personelin eğitimi ve uyması gereken kuralların ilgili standartlara göre belirtilmiş olması alınabilecek en temel önlemlerdendir.
- **Tasarım:** Bir sistemde oluşabilecek ark arızalarının önlenmesindeki en önemli aşama, tasarım esnasında doğru ekipman seçimi ve sistem tasarımıdır. Bağlantı noktaları, konnektör gibi anahtarlama elemanları, transformatörler ve kesiciler gibi metal muhafazalı cihazlardaki parçalar dahili ark oluşmasına çok müsait elemanlardır. Bu yüzden, tasarım ve doğru eleman seçimi ark arızalarının önlenmesinde çok etkindir.
- **Büyük Değerli Bir Direnç ile Topraklama:** Sistemi yüksek değerli bir direnç ile topraklamak, faz toprak arızalarında ark arızasını önleyici bir teknik olarak kullanılabilir. Özellikle alçak gerilim sistemlerinde kullanılan bu direnç sayesinde faz toprak arızası esnasında çıkan enerji bu direnç üstünde harcanarak azaltılır [11].
- **İletkenin Yalıtılması veya Çıplak İletken:** Temel olarak iletkenlerin yalıtılmış olması bir objenin düşmesi sonucu oluşabilecek arızaları ve bir faz arızasının kolayca fazlar arasına dönüşmesini engellemesi dolayısıyla faydalı bir uygulamadır denilebilir. Fakat, arızanın yalıtkan malzeme boyunca yavaşça devam edip yanması daha büyük bir zarara yol açabilir [12].
- **Bakım:** Elektrik güç sistemlerinde ve ekipmanlarında düzenli ve doğru yapılan bakımlar sayesinde ark arızaları ve olası etkileri önlenebilir. Görsel incelemeler, termal ölçümler, kısmi boşalma testleri ve düzenli koruma elemanı testleri önleyici bakım uygulamalarından bazılarıdır.
- **Çalışma Mesafesinin Belirlenmesi:** İlgili standartlara göre çalışma mesafelerin belirlenmesi ve bununla ilgili önlemlerin alınması uygulanabilecek en kolay yöntemlerdendir.
- **Uyarıcı Etiketler:** Elektrik panoları, kontrol panelleri, motor kontrol merkezleri gibi ekipmanlarda ark flaş tehlikelerine karşı uyarıcı etiketlerle önlemler alınabilir.
- **Kişisel Koruyucu Ekipmanlar:** NFPA 70E Standartına göre belirlenebilecek kişisel koruyucu ekipmanlar ile arkın meydana getirebileceği zararın azaltılması mümkündür.



- Akım ve Gerilim Bilgisine Göre Arkın Belirlenmesi: Alçak gerilim sistemlerindeki 3. 5. ve 7. harmoniklerin analiz edilerek ark tahmini için kullanılabilir [13]. Topraksız veya nötrü kompanze edilmiş orta gerilim sistemlerinin sıfır sequence gerilimindeki değişimlerde oluşabilecek toprak arızası için işaret verebilmektedir [14].
- Ark Arızası Belirleme için Diğer Metotlar (Kimyasal, termal vb. olaylar ile): Elektriksel verilerle yapılan ark arızası belirleme yöntemlerine ek olarak fiziksel verilere dayalı birçok yöntemde vardır. Farklı algılma teknikleri kullanılarak gerçekleştirilen bu yöntemlerde ark arızaları önlenebilir veya etkisi azaltılabilir.
- Sensor Teknolojileri: RF Anten, piezoelectric ultrasonic sensör, optik sensörler, yüksek frekanslı akım trafosu(HFCT), elektriksel diferansiyel sensörler gibi farklı sensör teknolojileri ark arızaları önlenebilir.
- Bara Ayırma: Sistem çalışma modunun yani farklı kaynakların ayrı ayrı ya da hep birlikte sisteme bağlı olmasının kısa devre hesaplamaları ve ark flaş analizlerine olan etkisi oldukça farklıdır. Bu yüzden, riski yüksek noktalarda bara ayırma yöntemi kullanılarak farklı kaynakların arızaya katkısının düşürülmesi ve ark arızalarının olumsuz etkilerinin azaltılması sağlanabilmektedir.
- Röle ayar değişiklikleri: Mevcut sistemde röle ayarları değiştirilerek ark süresi kısaltılabilir. Bu sayede, ark flaş arızalarının etkisi azaltılabilir. Örnek olarak, akım-zaman eğrisinin değiştirilmesi, zaman gecikmesinin azaltılması verilebilir.
- Akım Sınırlama Yaklaşımı: Ark akımının sınırlandırılması, ark süresinin önemli derecede etkilenmemesi koşuluyla ark-flaş enerjisinin azalmasını sağlar diyebiliriz. Akım sınırlayıcı sigortalar veya sisteme seri reaktör bağlanması ile arıza akımı sınırlandırılabilir.
- Bara Diferansiyel Koruma: Kirchoff yasasına göre bir düğüme ya da bir baraya bağlı akımların vektörel toplamı sıfırdır. Akımlar arasındaki herhangi bir farkın önceden tanımlı eşik değeri geçmesi sonucunda barada arıza olduğu anlaşılır ve açma komutu verilir. Güç sistemlerindeki baraların diferansiyel korunması olarak adlandırılan bu yöntemde; baraya bağlanan tüm fiderlere akım transformatörü bağlantısı yapılır ve bu akım transformatörleri üzerinden aradaki fark izlenir [15].
- Bölge Seçici Kilitleme: İki ya da daha fazla kesicinin birbiri ile haberleşmesi ile kısa devre veya toprak arızasının en kısa sürede arızaya en yakın kesici tarafından giderilmesini sağlayan metottur. Bu yöntemin temel amacı, hatanın konumuna bakılmaksızın, tam seçicilik dikkate alınarak, mümkün olan en kısa sürede arıza akımını temizlemektir.
- Ark Flaş Enerjisini Azaltan Bakım Anahtarı: Bazı uygulamalarda sistemi enerjisiz bırakmak mümkün olmayabilir. Bu gibi durumlarda daha hızlı açma sağlayacak ark flaş enerjisini azaltıcı bakım anahtarının kullanılması, enerjili sistemde çalışmakta olan personel için riski azaltmaktadır. Hızlı anahtarlama yapılarak ark ile açığa çıkabilecek enerji azaltılmakta ve enerjili sistemde çalışacak personelin maruz kalabileceği risk azaltılmış olmaktadır [16].
- Işık ve Aşırı Akım Tabanlı Koruma: Ark oluştuğu esnada ani bir radyasyon yayar ve bu görünen ışığın analiz edilmesiyle ark tespit edilebilir. Optik sensörlerle gerçekleştirilebilen bu koruma arızanın çok hızlı bir şekilde temizlenmesini sağlar. Yanlış açmaları önlemek için genellikle bu yöntem aşırı akım koruma yöntemi ile kombine edilerek kullanılır.

olarak ifade edilebilir.

#### **4. Modelleme ve Analizler**

Bu bölümde, örnek bir sistem modellenerek ark flaş hesaplamaları yapılmış, farklı çalışma modları dikkate alınarak ark flaş risk analizleri gerçekleştirilmiştir. Modellemeler için, ETAP (Electrical Power System Analysis & Operation Software) programı kullanılmıştır. Hesaplamalar IEEE 1585-2002 ve NFPA 70E-2015 standartlarına göre yapılmıştır. Bu simülasyonlar ile sistemin farklı noktalarında ve farklı çalışma modlarında ark flaş arızalarının etkilerinin incelenmesi gerçekleştirilmiş ve ark flaş arızalarının etkilerinin azaltılmasına yönelik önlemlerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Seçilen örnek sistem üzerinde ark flaş analizleri yapıldıktan sonra bara ayırma, röle ayar değişikliği ve arıza akım sınırlayıcı reaktör kullanımı yöntemleri uygulanarak ark flaş arızalarının etkilerinin azaltılması incelenmiştir.

#### 4.1. Sistem Tanıtımı

Seçilen endüstriyel tesisde farklı çalışma senaryolarında ark flaş analizleri yapılmış ve ark flaş enerjisi seviyesi yüksek çıkan durum için farklı çözüm yöntemlerinin azaltıcı etkisi analiz edilerek, elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Sistem, şebekeye 100 MVA gücünde 154/34,5 kV'luk transformatör üzerinden bağlıdır. 2 adet 6 MVA gücünde 34,5/10 kV'luk transformatör ile de tesis içerisinde 10 kV'luk baralar üzerinden enerji dağıtımı gerçekleştirilmektedir. Ayrıca 10 kV'luk baralardan birisine bağlı 2 adet 5 MW'lık generatörlerle de tesis, kendi içerisinde enerjisini üretebilecek kapasiteye sahiptir. Normal çalışma koşullarında tesis her daim şebekeye bağlı olarak işletilmektedir. Tesis içerisindeki diğer noktalara da orta gerilim yeraltı kabloları ile iletim gerçekleştirilerek, 8 farklı noktadaki binalar farklı güçteki 10/0,4 kV'luk transformatörler ile yüklerini beslemektedir. Yapılan analizlerde kullanılan sistemin tek hat şeması Şekil 3'de verilmiştir ve arıza noktaları da bu şekilde gösterilmiştir.

#### 4.2. Uygulanan Senaryolar ve Yapılan Analizler

Sistem çalışma modunun, farklı kaynakların ayrı ayrı ya da hep birlikte sisteme bağlı olmasının kısa devre hesaplamaları ve ark flaş analizlerine olan etkisi oldukça farklıdır. Bu yüzden, ark flaş analizleri yapılırken oluşabilecek ark arızalarının etkisi farklı senaryolarda ve farklı noktalarda analiz edilmelidir.

Farklı senaryolardaki durumları analiz edebilmek için her durumda aşağıda belirtilen noktalarda maksimum kısa devre akımı, ark akımı, ark flaş olay enerjisi, kişisel koruyucu ekipman seviyesi, ark flaş mesafesi ve arıza temizleme süreleri belirlenerek karşılaştırılmıştır.

A: 4 numaralı 10 kV'luk bara

B: 5 numaralı 10 kV'luk bara

C: 9 numaralı 10 kV'luk bara

D: 19 numaralı 0,4 kV'luk bara

Farklı baraların seçilme nedeni, gerilim seviyesi değişimleri ve arıza akımı farklılıklarının etkilerinin analiz edilebilmesine olanak sağlamaktır. Seçilen her bir barada, dikkate alınan dört farklı senaryo için analizler gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Sistemde belirlenen noktalarda yapılacak ark flaş analizleri için seçilen baraların gerilim seviyesi, bara açıklığı, mesafe faktörü ve çalışma mesafesi değerleri Tablo 3'de verilmiştir.

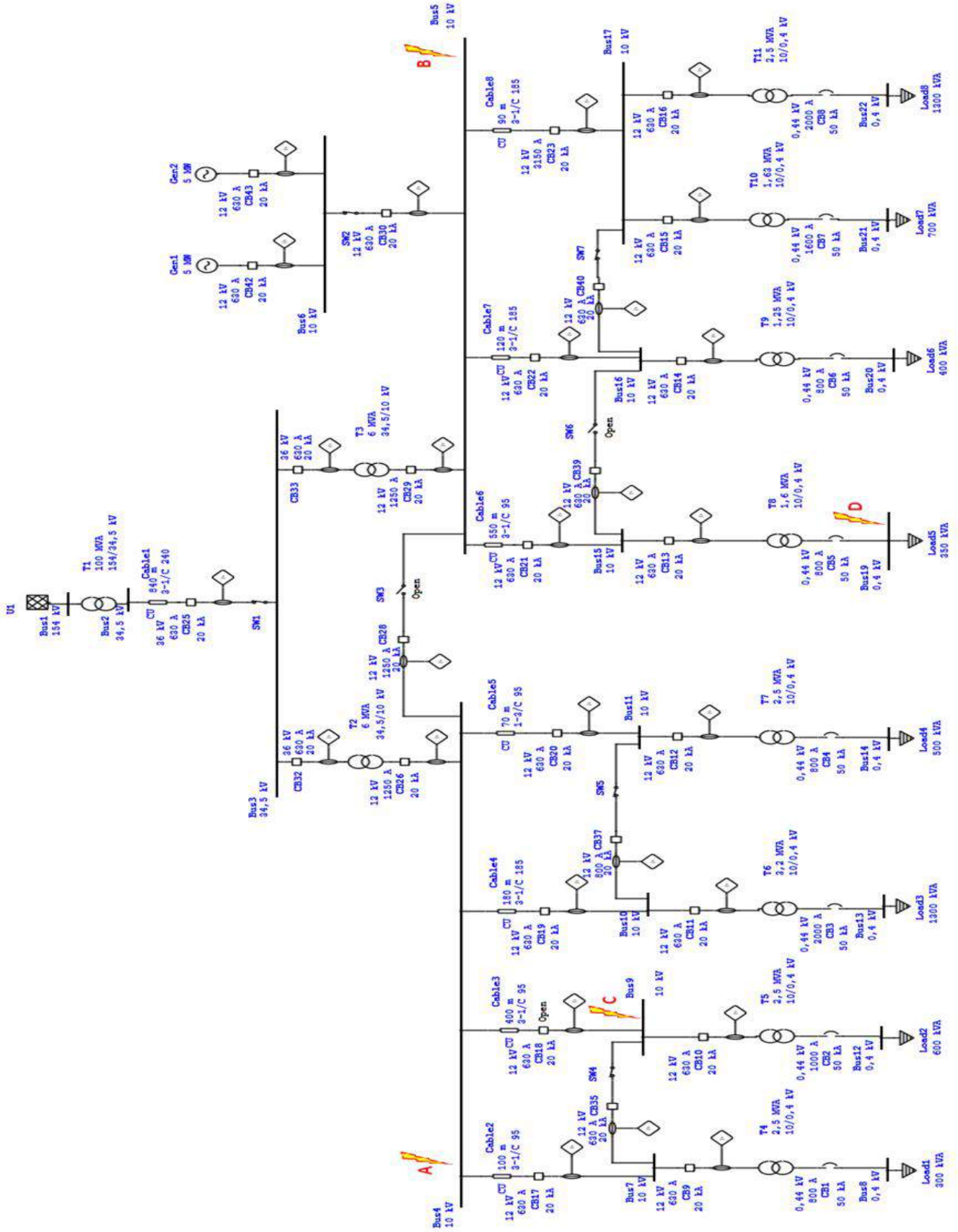
Tablo 3. Baraların Ark Flaş Analizleri için Gerekli Olan Verileri

	A: Bara 4	B: Bara 5	C: Bara 9	D: Bara 19
Gerilim Seviyesi [kV]	10	10	10	0,4
Bara açıklığı [mm]	153	153	153	32
Mesafe faktörü(x)	0,973	0,973	0,973	1,473
Çalışma mesafesi [cm]	91,4	91,4	91,4	61

Örnek sistemde gerçekleştirilen senaryolar Tablo 4'te özetlenmiştir. B barasına bağlanabilen generatör sisteminin bağlı olup olmaması ve A barası ile B barası arasındaki ana kuplaj anahtarının kapalı olup olmaması ile türetilen farklı senaryolara göre analizler gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4. Senaryo Açıklamaları

Senaryo 1: Şebeke bağlı, Generatör bağlı, kuplaj var
Senaryo 2: Şebeke bağlı, Generatör bağlı, kuplaj yok
Senaryo 3: Şebeke bağlı, Generatör bağlı değil, kuplaj var
Senaryo 4: Şebeke bağlı, Generatör bağlı değil, kuplaj yok



Şekil 3. Sistem tek hat şeması ve arıza noktalarının yerleri

IEEE 1584-2002 ve NFPA 70E-2015 kullanılarak ETAP programı vasıtasıyla gerçekleştirilen analizler sonucu farklı senaryolara göre elde edilen sonuçlar Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. Ark flaş analizi tüm senaryo verileri

Senaryo	Arıza Lokasyonu	3 faz kısa devre akımı (kA)	Ark akımı(kA)	Ark flaş enerjisi (cal/cm)	Kişisel Koruyucu Ekipman Seviyesi	Ark flaş sınırı (m)	Ark temizleme süresi (sn)
Senaryo 1	A	14,755	12,533	5,46	2	4,3	0,332
	B	14,755	12,533	5,46	2	4,3	0,332
	C	12,185	11,169	3,9	1	3,1	0,269
	D	38,377	15,541	4,07	2	1,4	0,12
Senaryo 2	A	5,159	5,035	2,04	1	1,6	0,332
	B	10,606	8,767	3,71	1	2,9	0,332
	C	5,071	4,977	1,25	1	0,96	0,206
	D	37,121	14,962	3,91	1	1,4	0,12
Senaryo 3	A	9,132	8,795	3,72	1	2,9	0,332
	B	9,132	8,795	3,72	1	2,9	0,332
	C	8,1	8,108	2,76	1	2,2	0,269
	D	37,087	14,965	3,91	1	1,4	0,12
Senaryo 4	A	5,12	5	2,02	1	1,6	0,332
	B	5,12	5	2,02	1	1,6	0,332
	C	5,034	4,944	1,24	1	0,9	0,206
	D	34,19	13,688	3,55	1	1,3	0,12

### 4.3. Ark Flaş Enerjisi Azaltma Yöntemlerinin Etkisinin İncelenmesi

Bu bölümde incelenen çalışma senaryolarından en kötü durum olan Senaryo 1 ele alınmış ve ark flaş arızalarının etkilerini azaltıcı yöntemlerden olan bara ayırma, röle ayar değişikliği ve akım sınırlayıcı reaktör kullanılmasının etkisi incelenmiştir.

#### 4.3.1. Bara Ayırma Yöntemi

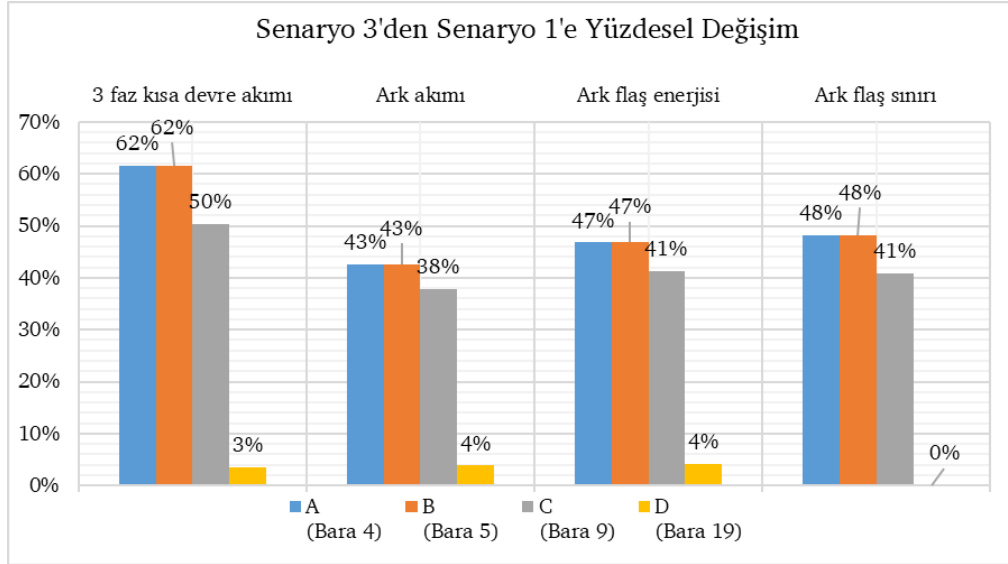
Tablo 5'teki ark flaş analiz verilerinden görüleceği üzere sistem çalışma moduna göre ark flaş arızalarının etkileri değişkenlik göstermektedir. İncelenen örnek sistemde görülmüştür ki, generatör sisteminin bağlı olmasının arıza akımına ciddi oranda etkisi vardır. Ayrıca, ana kablaj anahtarının kapalı olması ile tek bir bara haline gelen A ve B baraları sonucunda, kısa devre arıza akım değerleri artmakta, dolayısıyla ark flaş tehlikesi de yükselmektedir. Bu yüzden, sistemin esnekliğini ve güvenilirliğini arttırmak için ana kablaj anahtarı açık konumdayken sistemin işletilmesi gerçekleştirilmelidir. Bu şekilde baraların birbirinden ayrılması ile herhangi bir arızada farklı kaynakların arıza akımına katkısının engellenmesi bara ayırma yöntemi olarak bilinmektedir.

Bir sanayi tesisi için, enerji üretim sistemleri ile enerjiyi üreterek kullanmak direkt olarak sadece şebekeden almaya göre sistem sürekliliği ve ekonomik açıdan daha iyi olmasına rağmen arıza akımlarının artması dolayısıyla çeşitli riskler barındırmaktadır. Tesisin enerji ihtiyacı için şebekeye paralel olarak bağlanan kojenerasyon, güneş enerjisi gibi enerji üretim tesisleri ilave ark flaş önlemleri alınması ihtiyacını da beraberinde getirmektedir. Örneğin, Senaryo 1 ve Senaryo 3 karşılaştırıldığında Generatör sisteminin bağlı olduğu durumda görülmüştür ki; A ve B orta gerilim baralarında ark flaş enerjisi %47 artabilmektedir.

Şekil 4'de Senaryo 3'den Senaryo 1'e yüzdesel değişim gösterilmiştir.

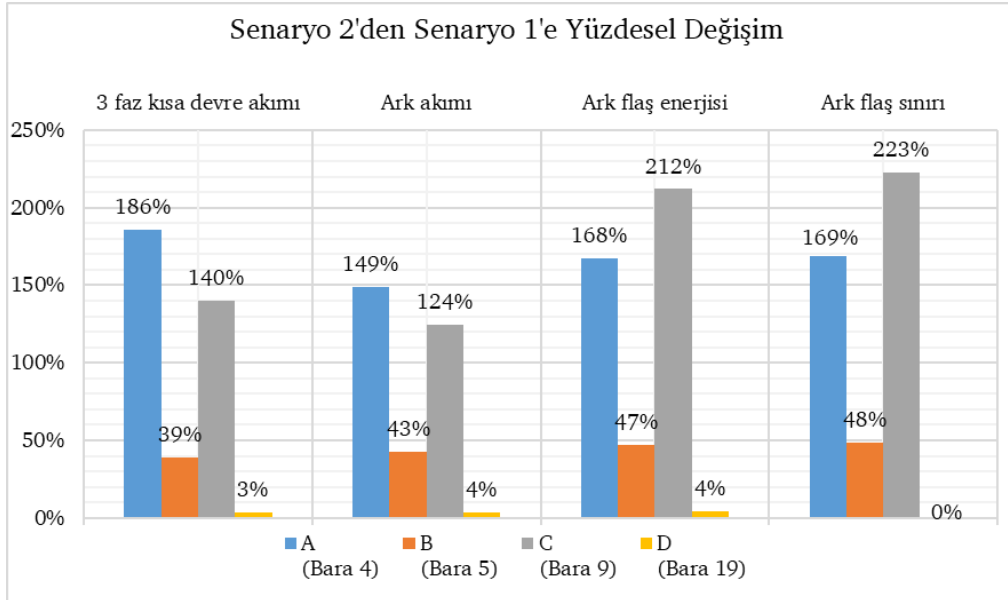
Ayrıca, benzer durum daha net bir şekilde Senaryo 2 ve Senaryo 4 karşılaştırıldığında özellikle ana kablaj bağlantısı yokken generatör sisteminin bağlı olduğu B barasında görülebilmektedir. B barasında, ark flaş enerjisi %83 artmıştır.

Ana kablaj anahtarının kapalı olması ile tek bir bara haline gelen A ve B baraları sonucunda kısa devre arıza akım değerleri artmakta dolayısıyla ark flaş tehlikesi de artmaktadır.



Şekil 4. Senaryo 3'den Senaryo 1'e Yüzdesele Değişim

Şekil 5'de Senaryo 2'den Senaryo 1'e yüzdesele değişim gösterilmiştir. Görüleceği üzere ana kuplaj anahtarı kapatıldığı durumda ark flaş enerjisi %212'ye varan oranlarda artabilmektedir.



Şekil 5. Senaryo 2'den Senaryo 1'e Yüzdesele Değişim

Analizler sonucu elde edilen bilgiler göstermektedir ki, tesis için en uygun çalışma modu farklı seçenekler değerlendirildikten sonra kararlaştırılmalı ve gerekirse belirli noktalarda ark flaş etkisini azaltma önlemleri alınmalıdır.

#### 4.3.2. Röle Ayar Değişikliği

Ark flaş arızaları sebebiyle oluşan zararların ana sebebi ark esnasında ortaya çıkan enerjidir. Ark flaş enerjisinin en önemli ve değiştirilebilir parametrelerinden biri ark süresidir. Ark süresi azaltılarak ark flaş enerjisi önemli ölçüde azaltılabilir. Bu sayede, ark arızalarının yıkıcı etkisini minimize edilebilir. Ark arıza süresini azaltabilmek için birçok yöntem ve geliştirilmiş özel koruma ekipmanları vardır.

Bu bölümde, seçilen noktalarda en yüksek ark flaş enerji seviyesine sahip en kötü çalışma modu olan Senaryo 1 ele alınarak ark süresini azaltarak ark flaş enerjisini azaltma yöntemlerinden bazıları incelenmiştir. Orta gerilim rölelerinde, röle eğri tipi değiştirilerek; alçak gerilim kesicilerinde (termik manyetik şalter) ise ani açma özelliği eklenerek farklı çalışma durumları oluşturulmuştur.

Durum 1: Senaryo 1'deki mevcut durum yani orta gerilim röleleri ters (inverse) aşırı akım koruma eğrisine sahip, alçak gerilim kesicileri ise ani açma özelliği yok, belirli bir zaman gecikmesi ile açmaktadır

Durum 2: Orta gerilim röleleri aşırı ters (very inverse) aşırı akım koruma eğrisine sahip, alçak gerilim kesicileri ise ani açma özelliklidir.

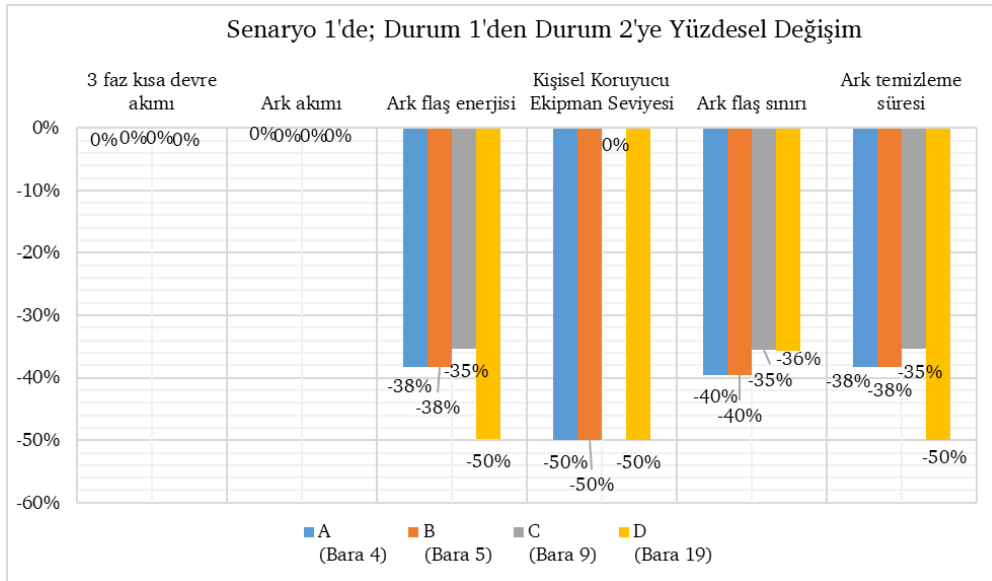
Oluşturulan bu durumlar için yapılan ark flaş analizleri Tablo 6'da özetlenmiştir.



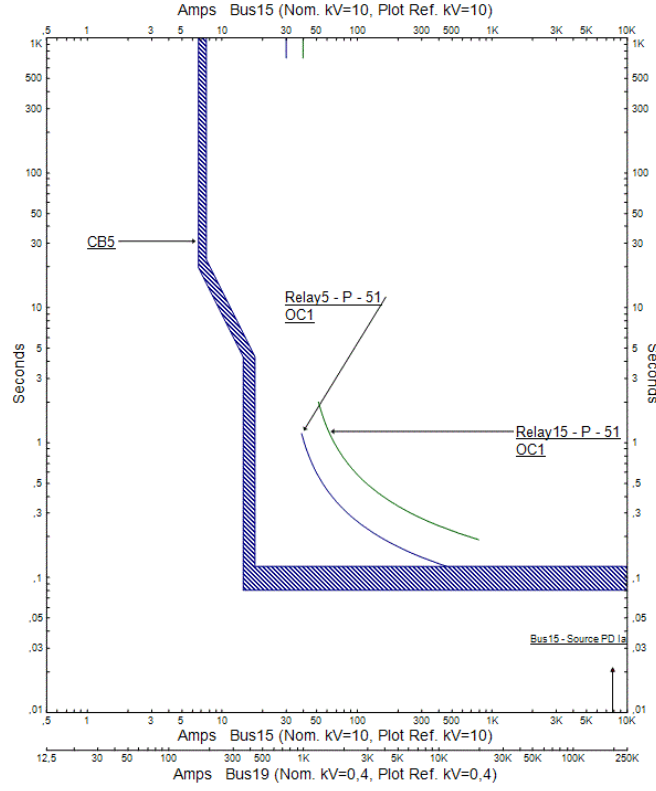
Tablo 6. Senaryo 1’de Durum 1 ve Durum 2 İçin Ark Flaş Analizi Verileri

Arıza Lokasyonu	Senaryo 1 - Durum 1 (Şebeke ve Generatör bağlı, kuplaj var)			
	A (Bara 4)	B (Bara 5)	C (Bara 9)	D (Bara 19)
3 faz kısa devre akımı (kA)	14,755	14,755	12,185	38,377
Ark akımı(kA)	12,533	12,533	11,169	15,541
Ark flaş enerjisi (cal/cm)	5,46	5,46	3,9	4,07
Kişisel Koruyucu Ekipman Seviyesi	2	2	1	2
Ark flaş sınırı (m)	4,3	4,3	3,1	1,4
Ark temizleme süresi (sn)	0,332	0,332	0,269	0,12
Arıza Lokasyonu	Senaryo 1 - Durum 2 (Şebeke ve Generatör bağlı, kuplaj var)			
	A (Bara 4)	B (Bara 5)	C (Bara 9)	D (Bara 19)
3 faz kısa devre akımı (kA)	14,755	14,755	12,185	38,377
Ark akımı(kA)	12,533	12,533	11,169	15,541
Ark flaş enerjisi (cal/cm)	3,37	3,37	2,52	2,04
Kişisel Koruyucu Ekipman Seviyesi	1	1	1	1
Ark flaş sınırı (m)	2,6	2,6	2	0,9
Ark temizleme süresi (sn)	0,205	0,205	0,174	0,06

Tablo 6’den görüleceği üzere sistemde empedans değeri değişmediği için 3 faz kısa devre akımı ve ark akımları aynı kalmıştır. Fakat, Durum 2’de ark süreleri değiştiğinden sonuçlarda ciddi değişiklikler söz konusudur. Ark süresinin A ve B baralarında 0,332 sn’den 0,205 sn’ye düşmesi, oluşan ark enerjisinin de azalmasını sağlamıştır. Şekil 6’dan da görüleceği üzere, ark flaş enerjisi %38, ark flaş sınırı ise %40 düşmüştür. C barasında da benzer şekilde röle karakteristiği değiştirilerek elde edilen daha kısa ark süresi, ark flaş enerjisi risk seviyesi bakımından ciddi oranda iyileşme sağlamıştır. C barasında ilk durumda 0,269 sn olan ark süresi ikinci durumda 0,174 sn; ilk durumda 3,9 cal/cm<sup>2</sup> olan ark enerjisi, ikinci durumda 2,52 cal/cm<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır.

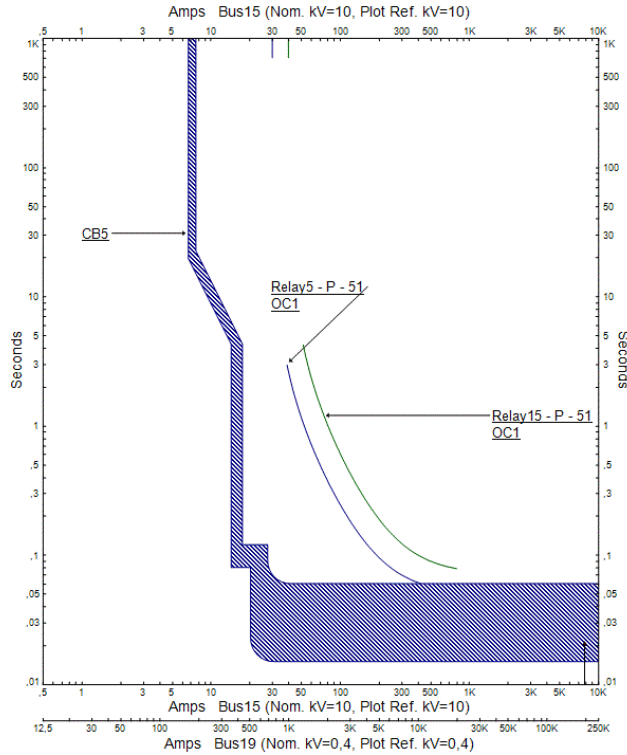


Şekil 6. Senaryo 1’de; Durum 1’den Durum 2’ye Yüzdese Değişim



Şekil 7. Senaryo 1 Durum 1’de D Barasındaki Arıza İçin Röle Koordinasyon Eğrisi

Senaryo 1’de D barasındaki röle koordinasyon eğrisi; Durum 1’de Şekil 7’de, Durum 2’de ise Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8. Senaryo 1 Durum 2’de D Barasındaki Arıza İçin Röle Koordinasyon Eğrisi

Alçak gerilim D barasında ise ani açma özelliği ile 0,12 sn’den 0,06 sn’ye düşen ark süresi sonucunda; ark flaş enerjisi yaklaşık 2 kat azalmış, ark flaş sınırı da yaklaşık 1,5 katına düşmüştür. Tablo 6’dan da görüleceği üzere alçak kerilim kesicisi belirli değerde ani açma yaparak açma süresini kısalttığından D barasında 3 faz kısa devre ve ark akımında bir değişiklik olmamıştır.

Röle ayar değişikliği vasıtasıyla ark süresini kısaltarak yapılan iyileştirme ile daha önce kişisel koruyucu ekipman seviyesi 2 olan A,B ve D baralarında seviye 1'e indirilmiş. Neredeyse seviye 2 durumunda olan C barasında ise ciddi oranda ark flaş enerjisi azaltımı gerçekleştirilmiştir.

#### 4.3.3. Arıza Akım Sınırlayıcı Kullanılması

Arıza sonucu oluşan ark flaş enerjisinin etkisini azaltmak için alınabilecek önlemlerden biri de arıza akımının azaltılmasıdır. Arıza akımını sınırlandırabilmek için çeşitli uygulamalar ve teknolojiler vardır. Bunlardan bazıları; akım sınırlayıcı sigortalar, seri reaktör kullanımı, özel tasarlanmış akım sınırlayıcı koruyucu ekipmanlar vb. olarak sıralanabilir.

Bu bölümde seri reaktör kullanılarak yapılan arıza akımı sınırlama yaklaşımı, seri reaktörün konulduğu yere göre 2 farklı durum için analiz edilmiştir. Yapılan analizlerde, orta gerilim röleleri ilk durumdaki gibi ters zaman eğrisi karakteristiğinde, alçak gerilim kesicileri de zaman gecikmeli durumundadır.

Koşul 1: Empedansı 20 ohm olan reaktör B barası ile generatör sistemlerinin bağlı olduğu Bara 6 arasına konumlandırılmıştır.

Koşul 2: Empedansı 20 ohm olan reaktör A barası ile B barası arasındaki ana kuplaj bağlantısına konumlandırılmıştır.

Tablo 7. Senaryo 1'de İlk Durum, Koşul 1 ve Koşul 2 İçin Ark Flaş Analizi Verileri

Senaryo 1- ilk durum (Şebeke ve Generatör bağlı, kuplaj var)				
Arıza Lokasyonu	A (Bara 4)	B (Bara 5)	C (Bara 9)	D (Bara 19)
3 faz kısa devre akımı (kA)	14,755	14,755	12,185	38,377
Ark akımı(kA)	12,533	12,533	11,169	15,541
Ark flaş enerjisi (cal/cm)	5,46	5,46	3,9	4,07
Kişisel Koruyucu Ekipman Seviyesi	2	2	1	2
Ark flaş sınırı (m)	4,3	4,3	3,1	1,4
Ark temizleme süresi (sn)	0,332	0,332	0,269	0,12
Senaryo 1 - Koşul 1 (Şebeke ve Generatör bağlı, kuplaj var)				
Arıza Lokasyonu	A (Bara 4)	B (Bara 5)	C (Bara 9)	D (Bara 19)
3 faz kısa devre akımı (kA)	9,429	9,429	8,334	37,215
Ark akımı(kA)	9,075	9,075	8,325	15,022
Ark flaş enerjisi (cal/cm)	3,85	3,92	2,85	3,93
Kişisel Koruyucu Ekipman Seviyesi	1	1	1	1
Ark flaş sınırı (m)	3	3,1	2,2	1,4
Ark temizleme süresi (sn)	0,332	0,592	0,269	0,12
Senaryo 1 - Koşul 2 (Şebeke ve Generatör bağlı, kuplaj var)				
Arıza Lokasyonu	A (Bara 4)	B (Bara 5)	C (Bara 9)	D (Bara 19)
3 faz kısa devre akımı (kA)	5,43	10,847	5,055	37,22
Ark akımı(kA)	5,288	8,984	5,039	15,007
Ark flaş enerjisi (cal/cm)	2,19	3,85	1,65	3,92
Kişisel Koruyucu Ekipman Seviyesi	1	1	1	1
Ark flaş sınırı (m)	1,7	3	1,3	1,4
Ark temizleme süresi (sn)	0,5	0,506	0,269	0,12

Bağlanılacak reaktörlerin empedansının hesaplanması için farklı değerlerdeki reaktörler ile analiz yapıldığında belirli bir değer sonrasında kısa devre akımlarına olan etkisinin azaldığı görülmüştür. Bu yüzden, 20 ohm'luk reaktör seçimi yapılmıştır. Ayrıca, reaktör değerini belirlerken iki koşuldaki hesaplamaları daha iyi analiz edebilmek için her iki koşulda da 20 ohm'luk reaktör seçilmesine karar

verilmiştir. Ark flaş analizleri sonrasında en kötü senaryo olarak belirlenen Senaryo 1’de yapılan değişikliklerle oluşturulmuş 2 farklı koşulun ark flaş analizleri ve Senaryo 1’de değişiklik yapılmadan önceki durumda elde edilmiş olan değerler Tablo 7’de özetlenmiştir.

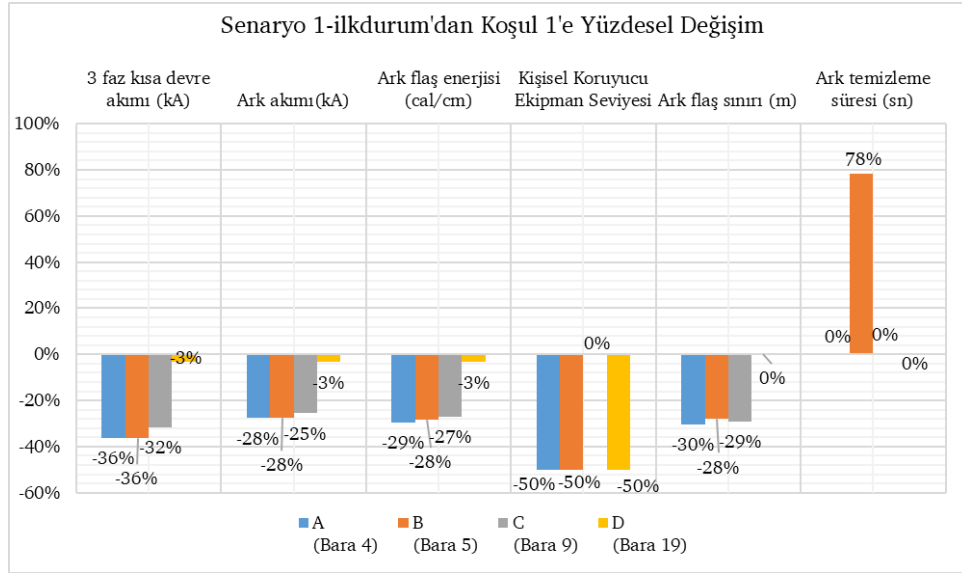
Tablo 7’den görüleceği üzere, seri reaktör kullanılması ile arıza akımı sınırlandırılmış dolayısıyla ark akımı azalmıştır. Ark akımındaki azalmalarda ark flaş enerjisini düşürmüştür.

Koşul 1’de A ve B baralarında arıza akımı 9,429 kA’ye, ark akımı ise 9,075 kA’ye düşmüştür. A barasındaki ark flaş enerjisi 3,85 cal/cm<sup>2</sup>’ye düşmüş olmasına rağmen, B barasında bu değer 3,92 cal/cm<sup>2</sup>’dir. Çünkü Koşul 1’de B barası ile generatör sistemlerinin bağlı olduğu baralar arasına koyulan reaktör ile bu bölgedeki arıza akımı azaltılmış; fakat ters eğri karakteristiği dolayısıyla B barasındaki ark temizleme süresi 0,592 sn’ye çıkmıştır. Her ne kadar B barasındaki ark süresi artmış olsa da ark akımı azaldığı için ilk duruma göre ark flaş enerji seviyesi düşmüştür.

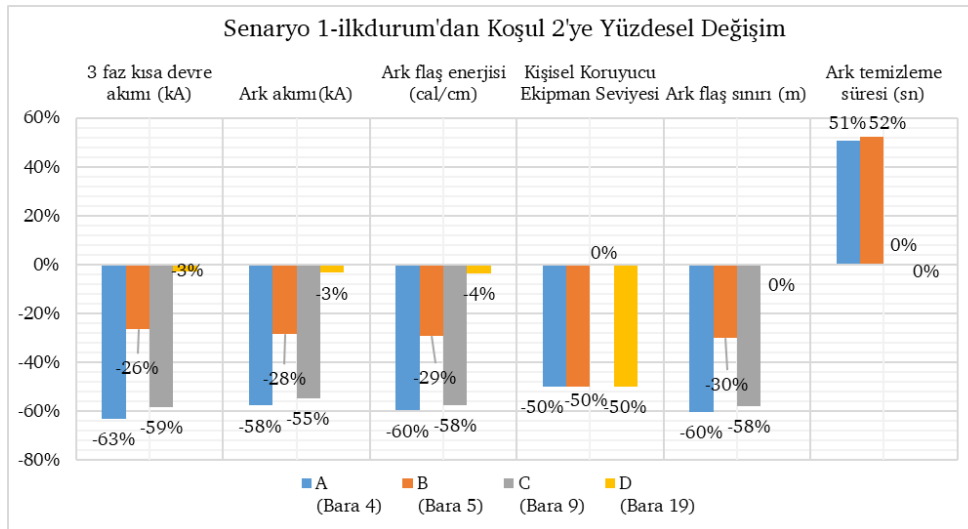
Koşul 2’de A ve B baralarında arıza akımı Senaryo 1’in ilk durumuna kıyasla; A barasında 14,755 kA’dan 5,43 kA’ye, B barasında 14,755 kA’dan 8,984 kA’ye düşmüştür. Arıza akımındaki bu değişim, ark akımını A barasında %58, B barasında ise %28 azaltmıştır. Bu sayede, ark flaş enerjisi A barasında 2,19 cal/cm<sup>2</sup>’ye , B barasında ise 3,85 cal/cm<sup>2</sup>’ye düşmüştür. Röleler, ters zaman eğrisine sahip oldukları için ark süresi A ve B barasında 0,5 sn seviyelerine çıkmıştır.

D barasında Koşul 1’deki gibi Koşul 2’de de büyük bir değişiklik olmazken, Koşul 2’de C barasında ark akımında 2,2 kat azalma dolayısıyla, ark flaş enerjisinde de 2,3 kat azalma gerçekleşmiştir.

Senaryo 1’deki ilk durum ile Koşul 1 arasındaki yüzdesel değişim Şekil 9’da , Koşul 2 arasındaki yüzdesel değişim ise Şekil 10’da gösterilmiştir.



Şekil 9. Senaryo 1-ilkdurum'dan Koşul 1'e Yüzesel Değişim



Şekil 10. Senaryo 1-ilkdurum'dan Koşul 2'ye Yüzesel Değişim

Güç sistemlerindeki arıza akım sınırlayıcı yöntemlerinden biri olan seri reaktör kullanımı, röle karakteristiğinden dolayı arıza süresini arttırsada, arıza akımının sınırlandırılması sayesinde ark flaş enerjisini ve olası etkilerini azaltıcı bir yöntem olarak kullanılabilir.

Koşul 1 ve Koşul 2’de, Senaryo 1’deki ilk duruma kıyasla arıza akımları azalmış, ark flaş enerji seviyelerini ciddi oranda düşmüştür. Analiz sonuçlarından da görüleceği üzere, akım sınırlama yaklaşımı ile ark flaş enerjisi azaltımı planlanıyorsa Koşul 2’deki durum yani reaktörün ana kuplaj bağlantısına bağlanması tercih edilmelidir.

## 5. Sonuç

Elektrik enerjisine olan ihtiyacın giderek artması, güç sistemlerinin büyümesine sebep olmaktadır. Bununla birlikte sisteme bağlanan dağıtık üretim sistemleri de yaygınlaşmaktadır. Elektrik güç sistemlerinin, bu şekilde genişleyerek kompleksleşmesi, oluşan arıza akımlarını arttırmakta, bunun sonucu olarak da verdiği zararları büyütmektedir. Ayrıca, elektrik güç sistemlerinde ve anahtarlama tesislerinde oluşturduğu zarar açısından en önemli arızalardan olan ark flaş arızalarının da ayrı olarak irdelenmesi, risk analizlerinin yapılması ve gerekli önlemlerin alınması ihtiyacını beraberinde getirmektedir.

Ark etkisinin azaltılması için uygulamada ve literatürde pek çok yöntem önerilmektedir. Bu çalışmada, belirtilen yöntemlerden 3 tanesi olan bara ayırma, röle ayarlarının değiştirilmesi ve arıza akım sınırlama yöntemlerinin etkileri incelenmiştir.

İncelenen örnek tesis için ana bara olarak tanımlanan 10 kV’luk A ve B baraları arasındaki kuplajın açılması ile B barasında oluşacak 3 faz arızası için meydana gelen ark flaş enerjisinin generatörlerin bağlı olduğu durumda %32, generatörlerin bağlı olmadığı durumda ise %45 azaldığı tespit edilmiştir.

Ark süresi azaltmanın etkisinin incelenmesi amacıyla koruma elemanı ayarları değiştirilmiştir. Normal çalışma modu ile karşılaştırıldığında B barasında, ark flaş enerjisinin %38, ark flaş sınırının %39 ve ark temizleme süresinin ise %38 azaldığı görülmüştür.

Arıza akımının azaltılması için seri reaktör kullanımının ark olayına etkileride analiz edilerek sunulmuştur. Bu uygulamada, kuplaj bağlantısına ve işletmedeki generatörler ile 10 kV’luk B barası arasına 20 ohm’luk reaktör bağlanması durumları incelenmiştir. En etkili durumun kuplajda kullanılan reaktör olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, bu noktada reaktör kullanmanın B barasındaki arıza için arıza akımı, ark akımı ve ark flaş enerjisini sırasıyla %26, %28, %29 azalttığını göstermiştir. Benzer şekilde alçak gerilim barası olan D barasındaki arıza için de aynı büyüklükler %3, %3,5 ve %3,7 azalmıştır.

Sistemdeki iki ana baradan biri aynı zamanda da generatör sistemlerinin bağlı olmuş olduğu bara olan B barasında, uygulanan yöntemlerin ark flaş enerjisindeki yüzdesel değişimi, en kötü senaryo olan Senaryo 1’e göre kıyaslanmıştır. Buna göre B barasındaki ark flaş enerjisini, kuplaja reaktör yerleştirilmesi %29, bara ayırma yöntemi %32, ark süresinin azaltılması yöntemi ise %38 azaltmıştır.

Bara ayırma yöntemi sistem işletme anında iken her zaman mümkün olmayabilir, reaktör kullanarak akım sınırlama yaklaşımı ise sistem reaktansını değiştirdiği için koruma koordinasyonuna etkisi, gerilim düşümüne sebep olması, sistemdeki kayıpları artırması ve maliyeti açısından tercih edilmeyebilir. Bu yüzden ark flaş enerjisini azaltma yöntemlerinden ark süresi azaltma yaklaşımı öncelikli olarak önerilen yöntem olmuştur. Uygulanan yöntemlerin B barasındaki ark flaş enerjisine olan yüzdesel etkileri gözönüne alındığında %38 azalma oranı ile ark süresinin azaltılması yönteminin, karşılaştırılan yöntemlerden en etkili olduğu görülmüştür.

Gerçekleştirilen çalışma sonucunda, sistemlerin kompleksleşmesi, can ve mal kayıplarının artması ile daha da önemli hale gelen ark flaş arızalarının hesaplamaları, etkileri, önlemleri ve olası çözüm yöntemleri incelenmiş, örnek sistemde uygulanabilecek en etkili çözüm yöntemi belirlenmiştir. Sonuç olarak, ark flaş arızalarının zararlarını minimize etmek için önleyici ve azaltıcı yöntemler, sistem çalışma koşulları, ekonomik yaklaşımlarla entegre olarak kullanılmalı ve sistem bütünüyle değerlendirilmelidir.

## Kaynakça

- [1] Lee R., (1982),” The Other Electrical Hazard: Electric Arc Blast Burns”, IEEE Transaction on industry applications, IA-18, No:3, pp. 246-251, May/June 1982.
- [2] IEEE Std 1584™, (2002), IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations, IEEE.
- [3] Hughes B., (2016), “Arc Flash Detection Prevents Catastrophic Damage”, IEEE IAS Electrical Safety Workshop (ESW), pp 1-5.
- [4] Inshaw C., Wilson R., (2005), “Arc Flash Hazard Analysis and Mitigation”, 58th Annual Conference for Protective Relay Engineers, pp. 145- 157, 2005.
- [5] Simms J., Johnson G., (2011), “Protective Relaying Methods For Reducing Arc Flash Energy”, 63rd Annual Conference for Protective Relay Engineers, pp 1-5, 2011.
- [6] Kanokbannakorn W., Hongesombut K., Teerakawanich N., Srisonphan S., (2016), “Arc Flash Hazard in Distribution System with Distributed Generation”, 2016 International Electrical Engineering Congress (iEECON2016), pp 377 – 380.
- [7] Gökçek, T , Ateş, Y . (2019). Dağıtık Güç Üretiminin Şebekeye Entegrasyonu ve Olası Etkilerinin İncelenmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi , (15) , 216-228 . DOI: 10.31590/ejosat.521350
- [8] S. Baykul, O. Arikan, “Arc Flash Faults Calculations, Hazard Analysis and Reduction Methods”, International Journal of Advances in Computer and Electronics Engineering, Vol. 4, No. 3, pp. 1-9, March 2019.
- [9] NFPA 70E, (2015), Standard for Electrical Safety in the Workplace, NFPA
- [10] Gould J., Wolfs P., (2016), “Arc Flash Hazard Analysis of Coal-Fired Power Station”, Australasian Universities Power Engineering Conference- AUPEC2016, pp 1-6.



- [11] Kingrey J., Painter D. ve Locker S. , (2011) ,“Applying High-Resistance Neutral Grounding in Medium-Voltage Systems”, IEEE Transactions On Industry Applications, 47, No: 3.
- [12] Land, B., (2008), “The Behavior of Arcing Faults in Low-Voltage Switchboards”, IEEE Transactions On Industry Applications, 44, No: 2.
- [13] Brechtken D., (2001), “Preventive Arc Fault Protection”, IEEE Transmission and Distribution Conference and Exposition, 28th October–2nd November 2001, Atlanta, pp. 311–316.
- [14] Arvola J., Dahl S., Virtala T., (2013), “Improving medium voltage switchgear protection in compensated distribution networks”, CIRED 2013 Conference, 10–13 June 2013, Stockholm.
- [15] Coşkuner B., (2016), “Düşük Empedanslı Diferansiyel Bara Koruma”, EMO İzmir Şubesi Bülten, Ekim 2016.
- [16] Eaton, (2011), “Arc Flash Energy Reduction Techniques Energy-Reducing Maintenance Switching”, TP08324002E, USA



## **Başkalaşan Kanat Ucu Tasarımı ve Avantajları**

Hüseyin Şahin<sup>1\*</sup>, Tuğrul Oktay<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Uçak Teknolojisi Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0464-2644)

<sup>2</sup> Erciyes Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4860-2230)

(İlk Geliş Tarihi 19 Ekim 2019 ve Kabul Tarihi 2 Kasım 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.634822)

**ATIF/REFERENCE:** Şahin, H., & Oktay, T. (2019). Başkalaşan Kanat Ucu Tasarımı ve Avantajları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 606-610.

### **Öz**

Kanat ucunda meydana gelen vorteks drag (sürüklemesinin) azaltılması için hava aracı üreticileri winglet veya sharklet adını verdikleri kanat ucunun kıvrılması formunda yapılar tasarlamışlardır. Bu makalede ise yine sabit kanatlı hava araçları için aerodinamik performans artırmak için kıvrık kanat ucu tasarımının geliştirilip hareketli kanat ucu tasarımı hakkında çalışılmıştır. Sabit kanatlı hava aracı üreten büyük firmalar değişik tiplerde ve formlarda kıvrık kanat yapısı denemiş ve kullanmışlardır. Tasarlanan ve kullanılan değişik tiplerdeki kıvrık kanat uçlarının farklı aerodinamik karakteristikleri mevcuttur. Airbus, Boeing gibi büyük uçak üretici firmalar yakıt tasarrufu gibi avantajlarından dolayı kıvrık kanat ucunu tasarlamışlardır. Kıvrık kanat ucu tasarımı uçuşun büyük bir kısmı olan düz uçuş safhası için iyi bir itki-sürtünme kuvveti oranı sağlayarak büyük bir verim sağlamasına rağmen uçuşun bütün safhaları için uygun yakıt performans değeri sağlamayacaktır. Düşük hızlarda vorteks sürtünme az olduğundan dolayı özellikle kalkış ve iniş gibi düşük hızda yüksek kaldırma kuvveti istenen durumlar için kıvrık kanat ucu tasarımının avantajı çok görülmemektedir. Bu nedenle düşük hızlarda kullanılmak üzere kıvrık kanat ucunun formunu kanat ile benzer açığa çekip kaldırma kuvveti artışı yapılabilir. Kanat ucu şeklinin değişimine izin veren başkalaşan kanat ucu tasarımı, kanat ucundaki bir menteşe yardımıyla hareket etmesine olanak vermektedir. Bu sayede düşük hızlarda daha fazla kaldırma kuvveti oluşturacak şekilde, düz uçuş safhasında ise daha az sürtünme kuvveti oluşturacak şekilde tasarlanmıştır. Kanat ucuna yapılan bu ufak mekanik değişiklik uçuş performansına aerodinamik olarak olumlu yönde etkisinin yanı sıra hava aracının yakıt tasarrufu, menzil artışı, daha az karbon salınımı gibi birçok avantajı bulunmaktadır. Bu çalışmada başkalaşan kanat ucu tasarımının literatür taraması yapılmış ve başkalaşabilen kıvrık kanat ucu tasarımının avantajlarından bahsedilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İnsansız Hava Aracı (İHA), Sabit Kanat, Başkalaşan kanat ucu.

## **Morphinglet Wing Tip Design and Advantages**

### **Abstract**

In order to reduce the vortex drag at the wing tip, aircraft manufacturers have designed structures in the form of curving wing tip, which they call the winglet or sharklet. In this article, the curved wing tip design has been developed and the moving wing tip design has been studied to improve aerodynamic performance for fixed wing aircraft. Producing fixed wing aircraft have tried and used curved wing structure in different types and forms. Different types of curved wing tip designed have different aerodynamic characteristics. International aircraft manufacturers such as Airbus and Boeing have designed the curved wing tip because of its fuel saving advantages. The curved wing tip design provides a good thrust-to-drag ratio for a large part of the flight, but it doesn't provide a suitable fuel performance value for all phase of flight. Because of low vortex drag at low speeds, the advantage of the curved blade tip design is not particularly noticeable, especially in situations where high lifts are required at low speeds such as take-off and landing. For this reason, the lifting force can be increased by the form of wing tip to a similar angle with the wing for use at low speeds. It is allowed to change the angle of the curved wing tip by use of a hinge and servo actuator system placed on the end of wing. Thus, it is designed to generate more lifting force at low speeds and less drag in the cruise flight phase. This small mechanical modification to the wing tip provides aerodynamically positive effects on flight performance, as well as many advantages such as

\* Sorumlu Yazar: Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Uçak Teknolojisi Bölümü, Ankara, Türkiye, ORCID: 0000-0003-0464-2644, [husahin@ybu.edu.tr](mailto:husahin@ybu.edu.tr)

aircraft fuel savings, range increase and reduced carbon emissions etc.. In this study, literature review of morphinglet wing tip design has been made and advantages of morphinglet wing tip design.

**Keywords:** Unmanned Aerial Vehicle, Fixed Wing, Morphinglet.

## 1. Giriş

İnsanlar uçmayı kuşları gözlemleyerek öğrendikleri gibi uçuş performansını artırmayı da kuşları inceleyerek yapmaya devam etmektedir. Kuşlar uçuşlarını daha verimli yapabilmeleri için kanat şekillerini ve boyutlarını değiştirmektedirler. Hava aracı tasarımcıları kanat tasarlarırken bu kuşları inceleyerek yapılmıştır. Kısa ve eliptik kanat şekline sahip şahin, sülün, ağaçkakan, güvercin gibi kuşlar hızlı kalkış ve kolay manevra kabiliyetlerine sahiptir, tıpkı STOL hava araçlarında olduğu gibi. Boşluksuz (slot) uzun kanata sahip kartal gibi kuşlar hızlı ve düz uçuş kabiliyetleri kuvvetlidir. Uzun dar kanatlı martı, kırlangıç gibi hayvanlar ise yüksek hızlarda süzölmeye izin verir. Kuşların kanat yapıları ve uçuş karakteristikleri incelenerek ve geliştirilerek aerodinamik verimliliğe sahip kanatlar tasarlamamıza yardımcı olacaktır. Hava araçları havada tutunabilmesi için kanadın altından geçen hava ile kanadın üstünden geçen havanın hızları ve basınçları farklı olması gerekir. Bu basınç farkı nedeni ile kanat ucunda vorteks sürüklenmesi oluşur. Vortekslerin azaltılması için hava aracı üreticileri winglet/sharklet adını verdikleri kıvrık kanat ucu kullanmaktadır. Hava aracı üreticileri değişik formlarda kıvrık kanat yapısı üretmişlerdir. Özellikle sabit kanatlı hava araçlarının uçuş karakteristiklerini olumlu yönde etkileyen Hava aracı üreticileri değişik formlarda kıvrık kanat yapısı üretmişlerdir. Bu uçuş safhaları genellikle kazaların en çok karşılaşıldığı uçuşun önemli kısımları olduğundan gerektiği zaman daha fazla kaldırma kuvveti oluşturulabilmesi için kanat ucunun şeklinin ve biçiminin değiştirilmesi verimliliği artıracaktır. Kanat ucu şeklinin değişimine izin veren başkalaşan kanat ucu, kanat ucunun katlanmasını sağlamaktadır. Geleneksel tasarımlardaki kanat yapılarında hava araçları statik kanat yapısı kullanır. Hava araçları kalkış ve iniş safhaları gibi düşük hızdaki performans gereksinimleri için yüksek kaldırma katsayısı ve düz uçuş için düşük sürtünme kuvveti gereksinimi vardır. Başkalaşabilen kıvrık kanat ucunda düşük hızlarda daha fazla kaldırma kuvveti oluşturacak şekilde, düz uçuş şartlarında ise daha az sürtünme kuvveti oluşturacak şekilde tasarlanmıştır. Bu çalışmada başkalaşabilen kanat ucuna sahip hava aracının hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile analizi yapılmıştır.

## 2. İnsansız Hava Araçları Hakkında Genel Bilgiler

Popüler bilim dallarından biri olan insansız hava araçlarının birçok avantajı bulunmaktadır. Bu avantajlardan en önemlileri maliyet, operatörünü taşımaması ve isteğe göre tasarlanabilir olmasıdır. Askeri ve sivil amaçlı birçok işlerde kullanıma uygun olarak tasarlanmıştır. Kullanıldıkları yerlere göre yakıtları elektrikli, sıvı yakıtlı veya hibrit olabilmektedir. İha sınıflandırmalarında birçok kriter bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanı uçuş menzili, havada kalış süresi ve irtifadır. Uçuş menzillerine göre pointer gibi 100km altı olan hava araçları kısa menzilli, silver fox gibi 100km-400km menzile sahip hava araçları orta menzilli, predator gibi 1500km üzeri menzile sahip hava araçları ise uzun menzilli hava araçları kategorisi altında değerlendirilmektedir. Çıkabilecekleri maksimum irtifa açısından 1km irtifaya yükselebilen hava araçları alçak irtifa, 1km-10km irtifaya yükselebilen hava araçları orta irtifa, 10kmden daha yüksek irtifaya çıkabilen hava araçları yüksek irtifa kategorisindedir.

## 3. Literatür Taraması

Sabit kanatlı hava araçlarının performans optimizasyonu yapılarak daha verimli hava aracı üretmek mümkündür. Bu optimizasyon araştırmaları kullanılan malzemenin değişimi ile mümkün olabileceği gibi tasarımın değişimi ile de mümkün olmaktadır. Bu çalışmalar yapılarak aerodinamik performans artar ve yakıt tüketimi düşmesi gibi avantajlar sağlanmış olur.

İnsansız hava araçları askeri ve sivil amaçlar ile birçok görevlerde kullanılmaktadır. İnsansız hava aracı kullanımının avantajlarından bazıları işe uygun şekilde imal edilmeye uygun olması ve maliyetinin ucuz olması. Uçuşun daha verimli olması için birçok çalışmalar yapılmıştır.

Hava araçları birden fazla uçuş koşullarına elverişli olması gerek. Bir tasarım, belirli bir durumda en iyi performansı elde etmek için optimize edilebilse de, tüm uçuş koşullarında hiçbir tasarım ideal olamaz. Bu nedenle değişik uçuş koşullarına adapte olabilen sistemler üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalardan birisi de başkalaşan kanat ucu tasarımıdır. Sabit kanatlı hava araçlarında kanat ucu tasarımı kullanımı sürüklenme kuvvetini azaltmada önemli bir etkisi bulunmaktadır.

Başkalaşan kanat uçlarının uçak performansını arttırmak ve çalışma sürelerini uzatmak için kullanımı, yukarıda sunulan statik kanatçıkların içsel sınırlamalarının üstesinden gelmektedir. Bu yazıda sunulan morphing kanat ucu sistemi, İHA'nın iyileştirilmesi için bu fırsatı ele almaktadır.

Bu çalışma, sabit kanatlı İHA'nın uçuşu görevi sırasında kullanılmak üzere kanat ucu şeklinin değiştirilmesi üzerine bir mekanizmanın tasarımını ve geliştirilmesini amaçlar. Böyle bir sistemin avantajları aşağıda açıklanmıştır ve bu proje içindeki sonuçlar, sistemin ve yapıların uçuş görevi boyunca karşılaşılan beklenen kuvvetlerle başa çıkma kabiliyetini göstermeye çalışmıştır.

Modern sabit kanatlı hava araçlarının kanatlarının uçlarında, kuşlardan ilham alınarak yapılmış winglet adı verilen yapılar mevcuttur. Bu winglet yapısı, kanat uçlarındaki tüylerinin neredeyse dikey bir açıda kıvrılabilen kuşların kanatlarından ilham almaktadır.

Kanatların aerodinamik yapısı gereği, üst ve alt yüzey arasındaki basınç farkı, kanat uçlarında girdaplar oluşturmasına neden olur, bu girdaplar uçağın sürüklenmesine neden olur. “Tipik bir uçağın sürüklenme dağılımı, kaldırma kuvvetinin neden olduğu sürüklenme düz uçuş koşullarında toplam sürüklemenin % 40'ını ve kalkış sırasındaki toplam sürüklemenin %80-90'ını oluşturabildiğini bilinmektedir”. [1]

Şekil 1. Değişik şekil ve tiplerde kıvrık kanat ucu tasarımı[2]



Başkalaşan kanat ucu tasarımı askeri ve sivil hava araçları için geliştirilmekte olan aerodinamik şekil değiştiren sistemdir. Başkalaşan kanat ucu tasarımı yakıt tasarrufu, verim ve manevra kabiliyeti avantajları sağlamaktadır. Petrol fiyatlarının artması ile birlikte ekonomik olarak rahatlamak isteyen kuruluşlar hava araçlarının daha verimli olmasını istemeleri sonucu ortaya çıkan çalışmalar neticesinde şekil değiştiren yapılar ortaya çıkmıştır. Yakıt tasarrufu sağlayan sistemler aynı zamanda çevresel olarak düşük karbon emisyonu sağlamaktadır.

Şekil 2. Başkalaşan kanat ucu tasarımının çalışması [3]



Bu çalışma sabit kanatlı hava araçlarının yakıt verimliliğini artırmak amacıyla kuş benzeri kanat ucu yapısının eğim açısını değiştirmeyi amaçlamaktadır. Böylelikle uçuşun her safhasında uçuş verimliliğini optimize etmektedir.

## 4. Sonuç

Kıvrık kanat ucu tasarımı kullanımı İHAlarda sürüklemeyi önemli ölçüde azalttığı açıkça bilinmektedir[3]. Fakat bu avantaj kalkış ve iniş gibi düşük hızlarda yapılması gereken uçuşlarda dezavantaja dönüşebilir. ZANKA-II insansız hava aracının kanat ucu tasarımını her uçuş safhasında daha verimli kılabilmek için menteşeli bir mekanizma yardımı ile aerodinamik verimliliğin artırılması hedeflenmiştir. Morphinglet tasarımı kanat ucuna yerleştirilen servo sistem yardımı ile hareket etmektedir. Uçuş kontrol sisteminde alınan sinyaller yardımı ile harekete geçen servo sisteme bağlı olan kanat ucu yapısı hareket ederek hava aracını bütün uçuş safhalarında daha verimli olmasını sağlamaktadır.

Şekil 3. Zanka II insansız hava aracı



Hava aracının havada tutunması ağırlık kuvvetinin tersi yönde bir kuvvet gerekmektedir. Taşıma kuvvetine etki eden parametreler şunlardır; kanatın şekli, kanat alanı, havanın yoğunluğu ve havanın hızıdır. Statik kanatlarda bu parametrelerden sadece havanın hızı değişkenlik gösterirken başkalaşan kanat ucu tasarımına sahip hava araçları kanat alanında değişimine izin vermektedir. Hava aracının havaya tutunabilmesi için gereken hıza stall hızı denir. Stall hızında iken hava aracının kanatlarının ürettiği taşıma kuvveti hava aracının ağırlığına eşittir. Stall hızını düşürmek için birçok yöntem bulunmaktadır. Başkalaşan kanat ucu tasarımı stall hızını düşüren yöntemlerden birisidir.

Tasarım yaparken dikkat edilmesi gereken diğer önemli parametre ise sürüklenme kuvvetidir. Uçuş yönünün tersine yönde gerçekleşen bu kuvvet hava aracına fren etkisi oluşturmaktadır. Bu yüzden sürüklenme kuvvetinin az olması istenir. Sürüklenme kuvveti hava aracının hızının karesi ile doğru orantılıdır. Sürüklenme kuvvetlerinden vorteks sürüklemenin azaltılması için kıvrık kanat ucu tasarımı kullanılmıştır. Düşük hızlarda vorteks sürüklenmesi de az olacağından dolayı düşük hızlarda kıvrık kanat ucu hava aracımızın performansına avantajdan çok dezavantaj sunmaktadır. Bundan dolayı başkalaşan kanat ucu tasarımına ihtiyaç duyulmuştur.

Hava araçlarında daha yüksek taşıma kuvveti üretmek için bazı yedek kontrol yüzeyleri bulunmaktadır. Bu yardımcı kontrol yüzeyleri genellikle hava aracının hızının nispeten düşük olduğu kalkış ve iniş gibi uçuş safhalarında kullanılmaktadır. Kaldırma kuvvetini artırmak için kanat alanının artırılması ve kanat şeklinin değiştirme işlemleri yapılmaktadır. Bu işlem için genellikle kanat hücum ve firar kenarına hareketli parça eklenmesi yapılırken başkalaşan kanat ucu tasarımında kanat ucuna hareketli parça eklenmiştir.

Sabit kanatlı hava aracının kanatlarındaki kaldırma kuvveti aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır;

$$L = C_l \times \frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \times A$$

L= Kaldırma kuvveti

C<sub>l</sub>= kaldırma kuvveti katsayısı (airfoil yapının şekline ve hücum açısına bağlıdır)

ρ=hava yoğunluğu

v= hava hızı

A= kanat alanı

Bu çalışmada insansız hava araçlarına başkalaşan kanat ucu tasarımı eklenerek bilgisayar ortamında hesaplamalı akış dinamiği yöntemi ile simülasyonu yapılmaya çalışılmıştır. Bu yöntem ile akışkan hava moleküllerinin hava aracı üzerine etkilerini algoritmalar ile bilgisayar ortamında analiz edilmesidir. Günümüz hava araçlarının aerodinamik olarak daha mükemmel yapıda ve verimli olmasında önemli bir role sahip olan bu yöntem hava aracı üretilmeden önce sürüklenme kuvvetinin etkilerini görmemize yardımcı olmuştur.

## 5. Tartışma

Her iki kanatta yer alan başkalaşan kanat ucu tasarımı simetrik bir şekilde aynı anda hareket ederek emniyetli ve stabil bir hareket için çok önemlidir. Kanat içerisine yer alan servo mekanizması yardımı ile sistem çalışmaktadır. Servo mekanizmasına bağlı mekanik bağlantı yardımı ile her iki kanat ucu yapısının hareket etmesi planlanmaktadır. Bu sistemi oluşturan komponentler her bir kanat için kanat ucuna hareket kabiliyeti vermesi için menteşe, menteşeyi hareket ettirebilmesi için mekanik bağlantılar, mekanik bağlantıyı hareket ettirmesi için servo motor, servo motora elektrik sinyallerini veren uçuş kontrol bağlantılarını sağlaması için elektrik kablolarından oluşmaktadır.

Başkalaşan kanat ucu hareket ettikten sonra kanat alanı dikey duran winglet alanı kadar uzamaktadır. Kanat alanının uzaması ile kaldırma kuvveti artacak ve stall hızı düşecektir. Stall hızı düşen hava aracı daha kısa mesafeden havalanma kabiliyetine sahip olacaktır. Kıvrık kanat ucu yapısı bozulduğundan vorteks sürüklenmesi artacaktır fakat düşük hava hızında etkisi az olacaktır.



## **Kaynakça**

1. Biometric spiroid winglets for lift and drrag control. Joel E. Guerrero, Dario Maestro, Alessandro Bottaro. 67-80, s.l. : C.R.Mecanique, 2012, Cilt 340.
2. Graham W., Winglets - All Shapes, Sizes - and Uses. aviationweek.com. <https://aviationweek.com/blog/winglets-all-shapes-sizes-and-uses>
3. Aerodynamic design optimization studies of a blended-wing-body aircraft. Lyu, Z., Martins, Joaquim R. A.,. 5, s.l. : journal of aircraft, Cilt 51.
4. Pinkstone, Adam. The devolepment of a mechanism for the actuation of a morphing winglet. behance.net. [Çevrimiçi] [Alıntı Tarihi: 15 04 2019.] <https://www.behance.net/gallery/21233351/Boeing-737-Morphing-Winglet>.
5. Uzun, Metin. İnsansız hava araçlarının aerodinamik performansının geometrik değişiklikler ile iyileştirilmesi. kayseri : s.n., 2018.
6. Prakash, Paudel. Aerodynamic aspect in the devolepment of morphing winglet for a regional aircraft . Toronto, Canada : s.n., 2015.
7. Preliminary design of an actuation system for a morphing winglet. I. Dimino, B.D. Giampaolo. s.l. : 8th International Conference on Mechanical and Aerospace Engineering, 2017.
8. Aero-structural design optimization of a morphing wingtip. L. Falcao, A. Suleman, A. A. Gomes. s.l. : journal of intelligent material system and structures, 2011, Cilt 22.
9. ÇELİK H. , OKTAY T. , TÜRKMEN I.( 2016) Model Predictive Control and Robustness Test of The Unmanned Aerial Vehicle (Zanka-I) in Various Turbulence, Journal of Aeronautics and Space Technologies, cilt.9, ss.31-42,



# Küresel İklim Değişikliğinin Yağış ve Sıcaklık Üzerindeki Etkilerinin Kırkgöze Dağlık Havzasındaki Kar Kütlesi Üzerinde 2050 Yılı İçin Beklenen Etkilerinin HSPF Model Programı İle İncelenmesi

Selim Şengül<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0041-1454)

(İlk Geliş Tarihi 2 Ağustos 2019 ve Kabul Tarihi 5 Kasım 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.601051)

**ATIF/REFERENCE:** Şengül, S. (2019). Küresel İklim Değişikliğinin Yağış ve Sıcaklık Üzerindeki Etkilerinin Kırkgöze Dağlık Havzasındaki Kar Kütlesi Üzerinde 2050 Yılı İçin Beklenen Etkilerinin HSPF Model Programı İle İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 611-636.

## Öz

Bu çalışmada Kırkgöze Havzası'nın kar birikme ve erime dönemlerindeki hidrolojik davranışını modellemek için kullanılan HSPF model parametreleri güncellenerek kalibre edilmiştir. BASINS programında önceden alansal karakterizasyonu yapılmış olan havzanın HSPF model programı ile havza ve iklim karakterizasyonu yapılarak üç farklı noktada kar birikmesi ve erimesi davranışları modellenmiş ve yağış ve sıcaklık parametrelerinin öngörülen iklim değişikliği trendlerinin bölgedeki karın birikme ve erime süreçleri üzerindeki etkileri simüle edilmiştir. Sıcaklık ve yağış, iklim değişikliğinin en önemli göstergeleridir. Özellikle kar yağışından beslenen havzalar için, karların erime döneminin erkene çekilmesi akarsu akımlarını etkiler. Sıcaklık artışı, kar erime dönemlerinin erkene çekilmesine sebep olmakta ve bunun sonucunda akarsuların hidrolojik rejimleri değişmektedir.

Kavramsal yapıdaki karmaşık bir model olan HSPF modeli ile Türkiye'de kar erimesinin etkili olduğu dağlık havzalarda farklı yükseklik ve bakıdaki üç farklı noktada gerçekleştirilen analizler ile Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki iklim değişikliği sonucu öngörülen yağış ve sıcaklık trendlerinin karın birikmesine ve erimesine olan etkisi 2050 yılı tahminleri ile ortaya konulmuştur. 2011 yılı verileri referans alınarak gelecekteki 40 yıllık periyod için gerçekleştirilen tahminlere göre erime dönemi yüksek rakımlarda kuzey bakıda 15 gün, güney bakıda ise 25 gün kadar öne kayabilmektedir. Çalışmada kar örtüsü üzerine yağın yağmurun ve erken erime sonucu çıplak arazi üzerine yağarak direk akışa geçen yağmurun gözlenen debiler üzerinde önemli etkilerinin olduğu sonucuna varılmıştır. Büyük kar kütlelerinden salınan pik debiler günlük bazda 1.4 kata kadar çıkabilmektedir. Bu ise ilerleyen dönemde bazı lokasyonlarda taşkın debilerinde önemli bir artışa işaret etmektedir. Bu nedenle taşkın koruma yapılarının ekonomik ömürleri boyunca hizmet verebilmesi için küresel iklim değişikliği trendleri gözönünde tutularak boyutlandırılması gerektiği sonucunu doğurmaktadır. Ayrıca karın zamanla daha yüksek kotlarda birikmeye başlayacak olması ile karla kaplı alanların azalacak olması özellikle farklı disiplinlerdeki kış sporlarının yapıldığı Doğu Anadolu'da mevcut bulunan tesislerin geleceğe yönelik projeksiyonlarının yapılması hususunda önem arz etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Kar Modellemesi, Enerji ve Kütle Dengesi, HSPF Modeli, Kırkgöze Havzası, İklim Değişikliği, Kış Sporları.

## Investigation of the Effects of Global Climate Change on Precipitation and Temperature for the Snowpack in Kırkgöze Mountainous Basin Expected for 2050 with HSPF Model Program

### Abstract

In this study, HSPF model inputs were re-calibrated to model the Kırkgöze Basin's hydrological behavior in terms of snow accumulation and depletion attitudes. Spatial characterization was defined earlier by using the BASINS program for the application of the HSPF model inputs. By using the HSPF model program, basin and climate characterization were constructed and the effects of climate change

\* Sorumlu Yazar: Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0041-1454), [ssengul@atauni.edu.tr](mailto:ssengul@atauni.edu.tr)

impact based on temperature and precipitation trends investigated upon snow accumulation and depletion simulations at 3 different locations. Temperature and precipitation are the most important indicators of climate change. Especially for the basins fed from snowfall, withdrawing the snow-melting period to earlier times will affect the streamflows. The rise in temperature leads to early snow melting and as a result, the hydrological regimes of the rivers change.

The analysis performed using HSPF such a conceptual model with a complex structure conveniently for the snowmelt dominated mountainous basins in the Eastern Anatolian Region of Turkey at three different stations with various aspects and altitudes. The effects of climate change trends over precipitation and temperature values have been analyzed to determine their impacts on snowpack for the year 2050 in the eastern mountainous regions of Turkey. According to the climate forecasts for the next 40-year period based on the 2011 data, at higher altitudes, the melting period can shift up to 15 days earlier from the snowpacks having the north aspect and 25 days from the south aspects. It was concluded that rain on snow events and the rain falling directly on bare land as a result of early melting had significant effects on observed flow rates. Peak flows released from the highland snowpacks can reach up to 1.4 times at daily scale. At some locations, this indicates a significant increase in flood flow rates for the following period. Flood protection structures should be resized according to global climate change impacts to serve for the future period throughout their economic lives. Besides, snowcovered areas will gradually decrease, as the snow will begin to accumulate at higher elevations, it is important to make future projections of the existing facilities in Eastern Anatolia, where winter sports in different disciplines are still performing.

**Keywords:** Snowmelt Modeling, Energy and Mass Balance, HSPF Model, Kırkgöze Basin, Climate Change, Winter Sports.

## 1. Giriş

Dünyanın birçok bölgesinde, özellikle dağlık bölgelerde kar erimelerinden meydana gelen akışlar hidrolojik döngünün ve su temininin en önemli elemanlarından biridir. Küresel ısınma sonucunda artan sıcaklık değerleri göz önünde bulundurularak kar kütlesinin ve nihai olarak kar erimelerinin zemin-su etkileşiminin modellenmesi esnasında kar örtüsü üzerine yağın yağmurun etkileri gibi kompleks durumlarla karşılaşılır. Bu nedenle ayrıntılı fiziksel tabanlı kar modellerine ihtiyaç vardır. Bununla birlikte bu tarzda modeller kullanılırken çok sayıda veri girişine ihtiyaç duyulmakta olup genellikle dağlık arazilerdeki koşullar bu tarz verilerin temininde birçok zorluğu da beraberinde getirmektedir (Griessinger et al., 2019). Kar erimelerinden oluşacak akımların tahmini, taşkınların kontrolü, hidroelektrik güç üretimi, tarım, sanayi ve günlük yaşam için su temini, su kuvveti tesisleri, çığ tehlikeleri vb. konularda yapılacak değerlendirmeler için oldukça önem taşımaktadır.

Yağışın kış aylarında kar olarak görüldüğü yüksek yerlerde kar erimesi su kaynaklarının beslenmesi, geliştirilmesi ve işletilmesi için çok önemli rol oynar. Kar erimelerinden meydana gelen akış, özellikle yüksek dağlık alanların hâkim olduğu Doğu Anadolu Bölgesi'nde son derece önemlidir. Dağların yüksek kotlarından kaynaklanan sular üzerine kurulu birçok barajın yıllık su hacimlerinin büyük bir kısmının kış aylarında meydana gelen yağışlardan ve ilkbaharda ise kar erimesinden ve kar örtüsü üzerine düşen yağmurdan kaynaklandığı belirlenmiştir. Bu nedenle kar potansiyelinin oldukça yüksek olduğu Doğu Anadolu Bölgesi'nde yapılacak olan kar hidrolojisi çalışmaları su kaynaklarının planlanması, ekonomik olarak işletilmesi ve bölgedeki tarımsal ve sportif faaliyetlere katkıda bulunmak açısından büyük önem taşımaktadır.

Kar erimesi akışlarının tahmini ve benzetimini yapmak için pek çok yöntem bulunmaktadır. Hidrolojik Simülasyon Programı-FORTRAN (HSPF) gibi karmaşık modeller, veri analizi ve kuramsal çatıyı bir araya getiren, ileri düzeyde model kalibrasyonuna yönelik araçların kullanımını gerektirmektedir.

ABD Çevre Koruma Kurumu (USEPA) tarafından geliştirilmiş olan BASINS (Better Assessment Science Integrating Point and Non-point Sources) yazılımı çok işlevli havza analizi ve modelleme aracıdır. BASINS, modeller ile verileri birlikte kullanarak su kalitesi ve havza çalışmalarına destek sağlayabilmektedir. HSPF, BASINS sisteminin çekirdeğini oluşturan modellerden biridir. BASINS veri toplama, veri hazırlama, havza karakterizasyonu, model uygulamaları, model çıktılarının yorumlanması ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yardımı ile sonuçların görselleştirilmesi, haritalandırılması ve tabloların oluşturulması süreçlerini bütünleştirmektedir.

Bu çalışmada BASINS altında çalışan ve hidrolojik simülasyonların gerçekleştirildiği HSPF uygulaması için model girdileri yeniden kalibre edilmiş olup gelecekte beklenen yağış ve sıcaklık trendlerinin kar kütlesi üzerindeki etkisi enerji ve kütle dengesi metodolojisi kullanılarak incelenmiştir.

Modeller kavramsal olarak, parametreleri ölçülebilen ve parametreleri kalibre edilebilen olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Parametreleri ölçülebilen modeller, havzadaki süreçler ve bunların fiziksel anlamları ile kurulup, bilinen havza özelliklerinden hareket edilerek tahmin edilebilen parametreleri kullanmaktadır. Ancak, model uygulamasının kapsamı ve ölçeği arttıkça, model karmaşıklığı da artabilmekte ve buna bağlı olarak gereken parametre sayısı da artmaktadır. Belirsizlik parametrelerinin çoğalması, fiziksel bazı modellerin havza ölçeğinde uygulanmasını kısıtlamaktadır. Bunun sonucunda havza ölçeğinde parametreleri ölçülebilen modellerin uygulanması zorlaşmaktadır (Al-Abed & Whiteley, 2002). Parametreleri kalibre edilen modeller ise, fiziksel süreçleri tüm ayrıntıları ile ele alan özgün denklemler yerine, süreçleri genel hatları ile temsil eden denklemleri kullanmaktadır. Bu denklemlerin bünyesindeki ampirik katsayılar deneme-yanılma yöntemi ile belirlenmektedir. Çok sayıda model parametresinin olduğu, bu parametrelerin sayısal büyüklüklerinin fiziksel süreçlere olan etkilerinin doğrudan anlaşılmadığı ve parametrelerin birbirlerinin büyüklüklerini etkiledikleri durumlarda, model kalibrasyonunun başarılı bir şekilde tamamlanması zorlaşmaktadır (Hayashi, Murakami, Watanabe, & Bao-Hua, 2004). Hidrolojik Simülasyon Programı-FORTRAN (HSPF) kavramsal bir model olup karmaşık yapıdadır. Model parametrelerinin değerlendirilmesinin yanı sıra modelde itici dış güçlerle ilgili verilere ve havzanın fiziksel özelliklerini karakterize eden topoğrafya, zemin özellikleri, arazi kullanımı gibi diğer alansal verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Değişik amaçlı çevre verisi analizlerini bir araya getirebilen bütünlük sistemler, bunun gibi karmaşık yapıdaki modellerin kalibrasyonunda kullanılan temel araçlardır.

Kar erimesinin etkili olduğu Kırkgöze (Çipak) Havzası çalışma alanında, iklim karakterizasyonunu gerçekleştirebilmek için HSPF model programı kullanılarak hava sıcaklığı, çığ noktası sıcaklığı, yağış, rüzgâr hızı, potansiyel evapotranspirasyon ve güneş ışınması (solar radyasyon) zaman serilerinin zamansal ve mekânsal olarak dağılımı yapılmıştır. Bu çalışmada zaman serileri havza sınırları dâhilinde kurulmuş olan ve 15'er dakikalık zaman aralıklarında ölçüm alan 3 adet otomatik meteoroloji ve kar gözlem istasyonundan alınan veriler kullanılarak 1'er saatlik ölçekte hazırlanmıştır.

Türkiye'de ortalama yıllık yağış yüksekliği 643 mm olup yılda ortalama 501 milyar m<sup>3</sup> suya tekabül etmektedir. Yıllık yüzey akımının 186 milyar m<sup>3</sup>/yıl olduğu ve buna komşu ülkelerden gelen 7 milyar m<sup>3</sup>/yıl'lık akım eklendiğinde Türkiye'nin yıllık toplam yüzey akışı 193 milyar m<sup>3</sup>/yıl değerine ulaşmaktadır. Bu potansiyelin %31'ini ise Türkiye'nin Doğu Anadolu'daki dağlık alanlarından beslenen Fırat ve Dicle havzalarından gelen akımlar oluşturmaktadır (DSİ, 2009).

İklim, tüm hidrolojik terimleri etkileyen temel faktör olduğundan, iklimdeki değişiklikler su kaynaklarının miktarını ve kalitesini doğrudan etkilemektedir. Atmosferdeki karbondioksit ve diğer gazların konsantrasyonlarındaki artışın, dünyanın ısı dengesini değiştirmesi ve küresel iklim değişikliğine neden olması beklenir. Bu gazlar güneşten gelen güneş radyasyonunun atmosferden geçmesine izin verir, ancak yansıyan ısının uzaya geri dönmesine engel olur. Bu durum, dünyanın sıcaklığının artmasına neden olur.

Gözlemsel kayıtlar ve iklim öngörülleri, tatlı su kaynaklarının savunmasız olduğu ve insan toplulukları ve ekosistemler için geniş kapsamlı sonuçlara yol açacak iklim değişikliği tarafından şiddetli etkilenme ihtimaline sahip olduğuna dair bol miktarda kanıt sunmaktadır. Dünya tarafından alınan güneş enerjisinin çoğu, hidrolojik döngüyü sürdürebilmek için kullanıldığından, atmosferde yakalanan daha yüksek güneş enerjisi seviyeleri, yağış yapısının değişmesi ile küresel sıcaklıklarda ve bu döngüde değişikliklere yol açacaktır. Birkaç yıl boyunca gözlemlenen ısınma, atmosferik su buharı içeriğinin artırılması; yağış yapıları, şiddeti ve uçlarını değiştirmek; azaltılmış kar örtüsü ve buzun geniş çapta erimesi; toprak nemi ve akışındaki değişiklikler gibi büyük ölçekli hidrolojik döngüdeki değişikliklerle ilişkilendirilmiştir (IPCC, 2007).

Dağ kar örtüsü ve ilkbahar akışı, iklim değişkenliği ve değişiminin önemli ve bölgesel olarak bütünleşmiş göstergelerini sundukları için yüzey su kaynakları açısından kritik öneme sahiptir. Dünyanın çeşitli bölgelerinde, nehir akımlarının yıl içindeki değişiminin sıcaklık değişimlerinden ziyade yağış değişimleriyle daha güçlü ilişkili olduğu bulunmuştur. Öte yandan, Avrupa'nın doğu kısımlarında birçok yerde yüzeysel akımların bahar aylarından kış aylarına doğru kayması yalnızca yağış toplamlarındaki bir değişiklik değil, daha ziyade özellikle sıcaklıklardaki artışla ilişkilendirilmiştir. Başka bir deyişle, yağışların kardan ziyade yağmur formunda gerçekleşmesi ile yüzey akımlarının nehir yatağına ulaşması daha kolaylaşarak yatak akımları eskisinden daha erken bir dönemde gerçekleşmektedir (Arnell, 1999). Yucel, Guventurk, and Sen (2015) Türkiye'nin Doğu Anadolu bölgesinde halihazırdaki kar akımlarından kaynaklanan akarsu akış zamanlamasının 1970-2010 dönemi iklim ortalamasına kıyasla bir hafta önce gerçekleştiğini göstermişlerdir. Bölgesel iklim simülasyonlarını yüksek emisyon senaryosu altında yürüterek, yüzyılın sonunda bu değişimin bir ay kadar büyük olacağını öngörmüşlerdir. Yüzyıl sonu tahminleri, Fırat-Dicle ve Aras havzaları için yüzeysel akışta önemli bir düşüş gösterirken, Çoruh havzası için daha az bir düşüş tespit edilmiştir. Yılmaz and Imteaz (2011) Yukarı Fırat Havzası akımlarının 2070-2100 periyodu için iklim değişkenleri altında olası davranışını LRBM ve HEC-HMS modellerini kullanarak modellemişlerdir. Her iki modelde de kar erimeleri modellenirken sıcaklık indeksi metodu kullanılmıştır. Meteorolojik iklim değişkenleri global ölçekteki ECHAM5 verilerinin RegCM3 modeli ile indirgenmesi ile elde edilmiştir. Hidrolojik model sonuçlarına göre belirtilen periyotta yaz ve bahar dönemi akımlarında önemli miktarda düşüş beklenmektedir. Özellikle ilkbaharda azalan kar örtüsü derinliği, ilkbahar kar erimesi akışının zamanlaması ve büyüklüğünün bölgesel hidrolojik sistemlere etkisinden dolayı kritik öneme sahiptir. Türkiye'nin doğu bölgeleri, dağlık arazi ve kuru iklim ile karakterizedir. Özellikle doğudaki bu dağlık kesimlerde ilkbahar ve yaz ayları başlarında kar erimesi nedeniyle oluşan akarsu akışı, yıllık toplam akış hacminin yaklaşık% 60-70'ini oluşturması bakımından önemlidir (Şorman, 2004). Bu sebeple, büyük rezervuarların bulunduğu Fırat ve Dicle havzalarındaki kar erimesine bağlı akışın zamanlaması ve miktarının tahmin edilmesi, su kaynaklarının etkin yönetimi için çok önemlidir (Sen, Unal, Bozkurt, & Kindap, 2011).

Bu çalışmada HSPF Modelinin Türkiye'de Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki kar erimesinin etkili olduğu dağlık havzalara uygulanabilirliği amaçlanarak öncelikli olarak kar erimesine ve akışa etki eden HSPF model parametreleri elde edilmiştir. Böylelikle ilgili modeli kullanılarak 2010-2011 kış periyodu boyunca bir yıllık kar birikme ve erime sezonunu içerecek şekilde üç farklı lokasyonda gerçekleşen fiziksel davranış kurulan model yardımı ile benzeştirilmiştir. Kurulan modelde iklim değişikliği etkilerinin yağış ve sıcaklık üzerindeki beklenen trendlerinin değerlendirilmesi ile 2050 yılı için beklenen olası kar kütlesi davranışı ile kütleden salınan ve yüzeysel akışa geçen su miktarlarının davranışı incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. BASINS'in Özellikleri

BASINS 4.0 güncel sürümü, açık kaynak kodlu MapWindow CBS platformu üzerinde yapılandırılmıştır. BASINS, WinHSPF, WDMUtil ve GenScn yardımcı araçlarını da içermektedir.

- WinHSPF, HSPF modelinin Windows XP™ işletim sistemi altında çalışan grafiksel kullanıcı arayüzlü sürümüdür.
- WDMUtil, alansal havza verileri ile meteorolojik ve diğer zaman serisi verilerini içeren HSPF model girdilerini oluşturup yönetilmesini sağlamaktadır.
- GenScn, HSPF model çıktıları ile çalışan bir son işlemci ve senaryo analizi aracıdır. (Anonymous, 2007).

BASINS içinde çalışan bir veri indirme aracı ile Amerik Birleşik Devletleri'ndeki (ABD) havzalar ile ilgili sürekli güncellenen veriler, BASINS web sitesinden yüklenebilmektedir. Bu veritabanları kullanılarak, havza analizi ve modellemesi işlemleri

kolaylaştırılabilmektedir. Bu veritabanları, standart bir paylaşım ve yayınlanma protokolü (örneğin veri yapıları ve dosya biçimleri) ile organize edilmiştir. ABD toprakları dört seviyede belirlenen oldukça küçük hidrolojik birimlere ayrılmıştır. Bunlar; ortamın hidrolojik özelliklerine bağlı olarak bölgeler, alt bölgeler, hesaplama birimleri ve kataloglama birimleri olarak sınıflandırılmıştır. Hidrolojik birimler kendi aralarında küçükten (kataloglama birimleri) büyüğe (bölgeler) doğru organize edilmiştir. Diğer bir deyişle, HUC bir havzanın en küçük birimidir. ABD topraklarının tümü 2264 hidrolojik birime bölünmüştür (Seaber, Kapinos, & Knapp, 1987).

BASINS'in ABD'deki havza analizi ve su kalite modellemesine yönelik birçok uygulamaya literatürde yer verilmiştir (Bergman, Green, & Donnangelo, 2002; Carrubba, 2000; Choi & Deal, 2008; El-Kaddah & Carey, 2004; Endreny, Somerlot, & Hassett, 2003; Im, Brannan, Mostaghimi, & Cho, 2004; Shirinian-Orlando & Uchirin, 2007). BASINS içindeki modelleme araçları tek başlarına çalışabilir olsalar da (Tzoraki & Nikolaidis, 2007) yazılım tasarım ayrıntıları ve veri yükleme araçlarının özellikleri nedeniyle, ABD dışındaki havzalarda pek uygulama alanı bulamamışlardır. BASINS'in CBS becerilerinden, havzanın karakterize edilmesinde ve modellerin çalıştırılması için gerekli girdi verilerinin hazırlanmasında yararlanılabilmektedir. Hidrolojik simülasyonların gerçekleştirileceği HSPF modelinin çalıştırılabilmesi için havzaya ait hidro-jeolojik veri tabanının BASINS ortamında ABD tarafından kullanılan standartlara göre modifiye edilmesi gerekmektedir.

## 2.2. HSPF Model Parametreleri

Poligonal bir arazi parçası, simüle edilmiş havzanın alt bölümlerinden biridir. Sınırlar kullanıcının ihtiyaçlarına göre kurulur. Genellikle her bir parça (segment) benzer hidrolojik karakteristikli bir alan olarak tanımlanır. Modelleme amaçları için su, sediment ve su kalitesi öğeleri havzadan yanlamasına doğru aşağı eğimli bir parça (segment, poligonal alan) veya bir rezervuara bırakılır. Su bütçesine etki edecek kadar yeterince infiltrasyona izin veren kapasiteye sahip bir arazi parçası geçirimli olarak düşünülür.

HSPF kavramsal bir model olup karmaşık yapıdadır. HSPF modeli ile gerçekleştirilecek olan yağış-akış simülasyonları geçirimli ve geçirimsiz zeminlerde ayrı ayrı olmak üzere en temelde ATEMP, SNOW, PWATER ve RCHRES modülleri sırasıyla işletilerek gerçekleştirilir. Farklı yükseltilerde bulunan kar kütesinden salınan veya yağış kaynaklı herhangi bir suyun belli bir arazi parçasındaki sızma, ara akış veya çıkış akımlarını tespit etmek, su bütçesi hesaplamalarını gerçekleştirebilmek için PWATER modülü aktive edilir. Yüzeysel akım değerlerinin belli bir gözlem noktasındaki değerlerinin tespiti için ise nihai olarak açık kanal akımı ile ilgili hidrolik hesaplamaların yapıldığı RCHRES modülü sonuçları kullanılır. PWATER ve RCHRES modülleri de oldukça kapsamlı ve kompleks yapıda olduğu için aşağıda sadece bu çalışmaya esas olan kar kütesinden salınan serbest su miktarının ve zamanının belirlenebilmesi için kullanılan ve bunun için karın kütesel davranışının hesaplandığı ATEMP ve SNOW modüllerinin fiziksel ve ampirik ilişkilerinden bahsedilmektedir.

### 2.2.1. Hava Sıcaklığı Yükseklik Farkı – ATEMP

ATEMP'in amacı havzadaki herhangi bir arazi parçası üzerindeki ortalama hava sıcaklığını gösteren girdi hava sıcaklığını modifiye etmektir (değiştirmektir). Hava sıcaklığı doğrulaması, arazi parçasının yüksekliği sıcaklık istasyonunun (ölçme aletinin) yüksekliğinden önemli derecede farklı ise gereklidir. Eğer yükseklik için doğrulamaya gerek yoksa bu modül kullanılmayabilir.

Hava sıcaklığı için düşme oranı zaman aralığı süresinde yağışa bağlıdır. Eğer yağış meydana gelirse, yükseklikteki fark foot başına 0,0035 derece Fahrenheit'lık (0,638°C/100m) bir ıslak düşme oranı (wet lapse rate) kabul edilir. Aksi takdirde günde zamanla değişen bir kuru düşme oranı kullanılır. 0,0035°F/foot (0,638°C/100m) ile 0,005°F/ft (0,911°C/100m) arasında değişen 24 saatlik bir tablonun kuru düşme oranları sisteme yerleştirilmiştir. Doğrulanmış hava sıcaklığı:

$$\text{AIRTMP} = \text{GATMP} - \text{LAPS} * \text{ELDAT} \quad (2.1)$$

AIRTMP = Doğrulanmış hava sıcaklığı (derece F)

GATMP = İstasyonda hava sıcaklığı (derece F)

LAPS = Düşme oranı (derece F/foot)

ELDAT = Arazi parçası ve istasyon arasındaki yükseklik farkı (ft)

### 2.2.2. Kar ve Buzun Birikmesi ve Erimesi – SNOW

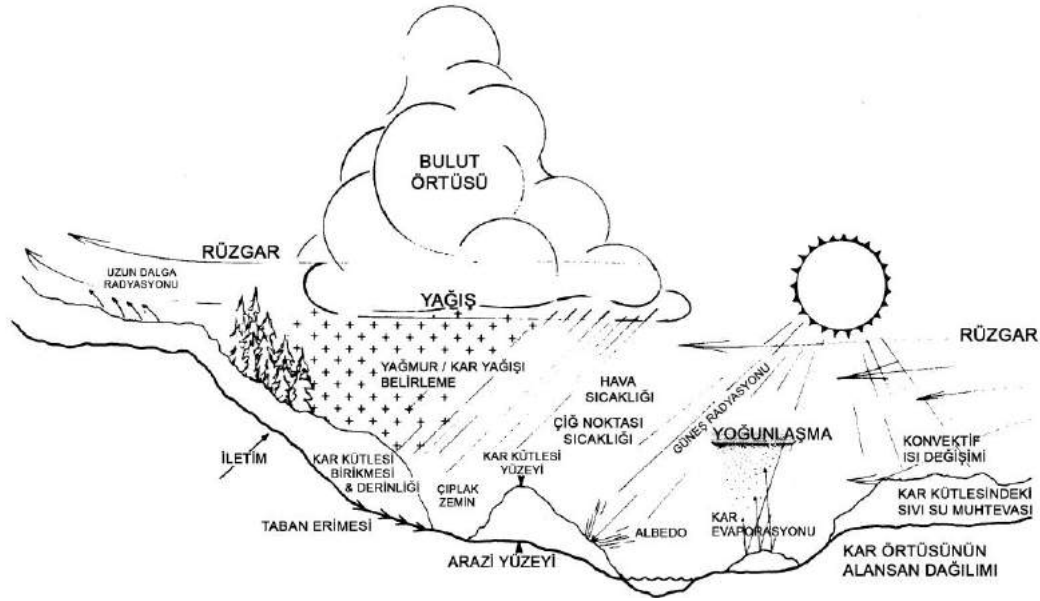
SNOW karın düşme, birikme ve erimesinden elde edilen akışla ilgili bir modüldür. Bu özellikle kar yağışının etkili olduğu havzalarda kar erimesinden elde edilen akışın çıkış debisinin çoğuna neden olduğundan dolayı hidrolojik paketin gerekli bir bölümüdür.

Bir arazi parçası üzerinde kar birikmesi ve erimesi ile alakalı işlemleri modellemek için iki seçenek mevcuttur. İlk yöntem, İstihkâm Sınıfı (Corps of Engineers) (Anonymous, 1956), Anderson and Crawford (1964) ve Anderson (1968) tarafından yapılan çalışmalara dayanan bir enerji dengesi yaklaşımıdır. Fiziksel ilişkiler iyi bilinmediğinde ampirik ilişkiler kullanılır. Kar algoritmaları, yağışın yağmur veya kar olup olmadığını belirlemek için, kar kütesi için bir enerji dengesi simüle etmek ve kar kütesine ısı akışının etkisini belirlemek için meteorolojik verileri kullanır. Şekil 2.1'de kar birikme ve erime işlemlerindeki süreçler gösterilmektedir.

İsteğe bağlı, ikinci bir kar erime yöntemi ise sıcaklık indeksini veya derece-gün yaklaşımını (Rango & Martinec, 1995) kullanır. Orijinal yöntemdeki çoğu işlemler, atmosferik ısı değişiminden dolayı kar erimesi hava sıcaklığı ve ampirik bir derece-gün faktörü kullanılarak hesaplanarak devam ettirilir. Bu yaklaşım meteorolojik veriler için yağış ve hava sıcaklığına gereksinimleri azaltır.

Altı meteorolojik zaman serisi, seçilen seçeneğe bağlı olarak simüle edilen her arazi parçası için SNOW tarafından gerekli olabilir (Tablo 2.1). Bu çalışmada enerji dengesi (bütçesi) metodolojisi kullanılacaktır.





Şekil 2.1. Kar birikme ve erime işlem süreci

Bu zaman serilerinin hepsinden bir değer, her simülasyon aralığının başlangıcında SNOW'a girdidir. Buna rağmen, meteorolojik zaman serilerinin bazıları kar kütesinden evaporasyonun potansiyel oranının hesabı gibi sadece ara hesaplama oranları için kullanılır.

Hava sıcaklığı, yağışın yağmur veya kar şeklinde olup olmadığını belirlemek için kullanılır. TSNOW kritik sıcaklığı çığ noktasına dayanılarak doymayan şartlarda bir derece F'a (1,8°C) kadar yukarı doğru ayarlanabilir. Bu ayarlama sıcaklık indeks yöntemi kullanılırken opsiyoneldir ve sadece geçirimli arazi parçasına (Pervious Land Segment, PLS) çığ noktası zaman serileri girdi olarak sağlandığında kullanılır.

Tablo 2.1. SNOW modülünde kullanılan meteorolojik zaman serileri

Meteorolojik Nicelik	Enerji Dengesi	Sıcaklık İndeksi
Yağış	Gerekli	Gerekli
Hava Sıcaklığı	Gerekli	Gerekli
Güneş Radyasyonu	Gerekli	Kullanılmıyor
Çığ Noktası	Gerekli	Opsiyonel
Rüzgâr Hızı	Gerekli	Kullanılmıyor
Bulut Örtüsü	Opsiyonel	Kullanılmıyor

Kar bir defa zemin üzerinde birikmeye başlarsa, kar birikmesi ve erimesi hesapları gerçekleşir. Kar kütesinin erimesini etkileyen ısının beş kaynağı simüle edilebilir (sıcaklık indeks yaklaşımı kullanıldığında, ilk üç kaynak derece-gün faktörü altında dâhil edilmiştir).

1. Net radyasyon ısısı (RADHT), uzun dalga ve kısa dalga
2. Havadan hissedilir ısının konveksiyonu (CONVHT)
3. Kar kütesi üzerinde nemli havanın yoğunlaşmasıyla gizli ısı transferi (CONDHT)
4. Yağmurdan ısı, yağmur yağışından hissedilir ısı (RNSHT) ve kar kütesi üzerinde yağmurun donmasından gizli ısı
5. Zemin üzerinden kar kütesine ısı iletimi (GMELTR)

Evaporasyondan gizli ısı gibi diğer ısı değişimi işlemleri daha az önemli olduğu düşünülür ve simüle edilmez. Eğer enerji dengesi seçeneği açıksa, RADHT, CONVHT ve CONDHT için enerji hesaplamaları HEXCHR alt programı tarafından çalıştırılır. Bu üç ısı kaynağının toplamı MOSTHT ile ifade edilir. Eğer derece-gün seçeneği açıksa, MOSTHT, hava sıcaklığı ve derece gün faktörü kullanılarak DEGDAY alt programında doğrudan hesaplanır. Yağmur donmasından gizli ısı WARMUP alt programında dikkate alınır. RNSHT, SNOW ana alt programında hesaplanır. GMELTR, GMELT alt programında hesaplanır ve kar kütesinden ayrıca çıkarılır.

İşlemlerde benzerliğin sağlanabilmesi için bütün hesaplamalarda enerji değerleri, eritecekleri su eşdeğeri cinsinden hesaplanır. 32 derece F (0°C)'da 1 inç (2,54 cm) su eşdeğerindeki karın erimesi için yüzeyde  $\text{cm}^2$  başına 202,4 kalori gerekir. RNSHT'yi de içeren ve kar kütesine giren bütün ısı kaynaklarının pozitif veya sıfır olduğu kabul edilirken RADHT negatif değer alabilir (ısının kütleli terketmesi).

Atmosferden gelen net ısı (MOSTHT ve RNSHT'nin toplamı) kar kütlelerini ısıtmak için kullanılır. Kar kütleleri, yağmur donması ile serbest bırakılan gizli ısı tarafından ilaveten ısıtılmış olabilir. Kar kütlelerini ısıtmak için gerekli olan 32 derece F (0°C) üzerinde herhangi fazla ısı kütleleri eritmek için kullanılır. Aynı şekilde negatif bir ısı deposu üreten net ısı kaybı, kar kütlelerini soğutmak için kullanılır. Ayrıca, zeminden gelen ısı kar kütlelerini atmosferik ısı kaynaklarından bağımsız olarak alt taraftan eritmektedir. Bunun haricinde erime oranı kar kütlelerinin sıcaklığına bağlıdır.

Şekil 2.2'de SNOW bölümünde modellenen nem işlemleriyle ilgili şematik bir gösterim verilmiştir. Yağış, kar kütleleri veya zemin üzerine yağmur veya kar şeklinde düşebilir. Simüle edildiğinde evaporasyon sadece kütlelerin donmuş kısmından olur (PACKF). Kütlelerin donmuş kısmı kar ve buzdan oluşur. PACKF'in buz kısmının kar kütlelerinin alt kısımlarında olduğu düşünülür, bu yüzden zeminden ısı iletildiğinde ilk eriyecek kısımdır. Benzer şekilde, PACKF'in kar kısmı atmosferik ısı arttığında eriyecek ilk kısımdır. PACKF'in eriyen kısmı ve/veya kar kütlelerine düşen yağmur ile kar kütlelerinin taşıma kapasitesini aşabilecek, toplam kar kütlelerinin sıvı su kısmı üretilir. Üzerinde kar kütleleri olmayan çıplak arazideki su akışı ve yağmur ayrıca PWATER veya IWATER (tamamiyle geçirimsiz arazi parçalarının simüle edildiği modül) bölümüne girdi olarak konulur.

Yağmurdan (RNSHT) kar kütlelerine giren ısı transferi SNOW ana alt programında aşağıdaki fiziksel tabanlı denklem ile hesaplanır:

$$RNSHT = (AIRTMP - 32,0) * RAINF / 144,0 \quad (2.2)$$

AIRTMP = Havanın sıcaklığı (derece F)

RAINF = Yağmur yüksekliği (inç)

144,0 = Erimenin eşdeğer yüksekliğine dönüştürmek için faktör

32,0 = Donma noktası (derece F)

Kar kütlelerinin diğer karakteristikleri de SNOW ana alt programında belirlenir. Mevcut kar kütleleri tarafından arazinin ne kadarının karla kaplı olduğu kar kütlelerinin derinliğinin COVIND parametresinin bir fonksiyonu olan bir örtü indeksine (COVINX) bölünmesiyle ve EFPFRC alt programında açıklanan kütlelerin tarihsel verileriyle tahmin edilir. Kar kütlelerinin sıcaklığı:

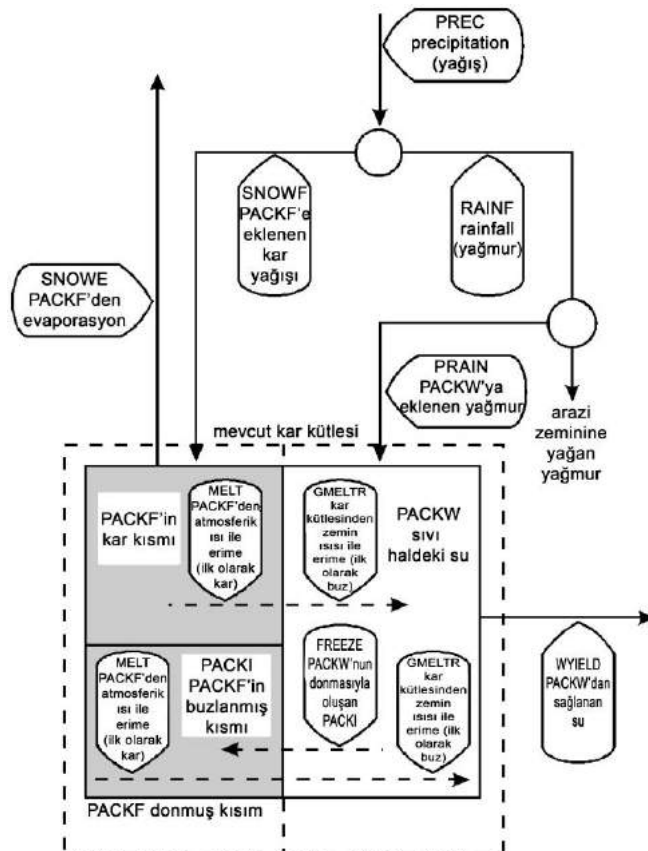
$$PAKTMP = 32,0 - NEGHTS / (0,00695 * PACKF) \quad (2.3)$$

PAKTMP = Kar kütlelerinin ortalama sıcaklığı (derece F)

NEGHTS = Negatif ısı deposu (inç olarak su eşdeğeri)

PACKF = Kar kütlelerinin donmuş içeriği (inç olarak su eşdeğeri)

0,00695 = Fiziksel tabanlı dönüştürme faktörü



Şekil 2.2. SNOW bölümünde modellenen nem şeması

### 2.2.2.a. Meteorolojik Şartlar – METEOR

METEOR alt programı ampirik denklemleri kullanarak karla ilgili spesifik (özel) işlemler üzerinde belirli meteorolojik şartların etkilerini tahmin eder. Yağışın kar mı yoksa yağmur mu şeklinde olduğunu belirler. Yağışın şekli, akışın ve kar erimesinin güvenilir bir şekilde simüle edilmesi için kritiktir. Kar yağdığı zaman, yoğunluk yeni kar kütesinin yüksekliğini (derinliğini) belirlemek için hesaplanır. Açık olan gökyüzü parçası da radyasyon algoritmalarında kullanılmak üzere (eğer gerekliyse) tahmin edilir ve eğer hava sıcaklığından daha sıcaksa istasyonun çığ noktası sıcaklığı doğrulanır.

Eğer çığ noktası girdi ise, doğrulanır ve kar yağışı için kritik sıcaklık ayarlaması için kullanılır. Bir istasyonun çığ noktasının hava sıcaklığından yüksek olması fiziksel olarak mümkün değildir ve kar kütesi evaporasyonunun hesaplanmasında hatalı sonuçlar verir. Bu yüzden, bu durum oluştuğunda çığ noktası hava sıcaklığına eşit alınır. Aksi takdirde istasyon çığ noktası kullanılır. Aşağıdaki ifade kar yağışının oluştuğu etkili hava sıcaklığı düşüşünün saatlik olarak hesaplanmasında kullanılır:

$$\text{SNOTMP} = \text{TSNOW} + (\text{AIRTMP} - \text{DEWTMP}) * (0,12 + 0,008 * \text{AIRTMP}) \quad (2.4)$$

SNOTMP = Yağışın kar şeklinde gerçekleştiği hava sıcaklığı eşiği (derece F)

TSNOW = Parametre (derece F)

AIRTMP = Hava sıcaklığı (derece F)

DEWTMP = Çığ noktası sıcaklığı (derece F)

Denklem 2.4 ile hesaplanan SNOTMP'nin TSNOW'dan maksimum bir derece F sapmasına izin verilir. Eğer çığ noktası girdi değil ise o zaman SNOTMP daima TSNOW'a eşit olur. AIRTMP, SNOTMP'ye eşit veya büyük olduğunda yağışın yağmur şeklinde olduğu farz edilir. Kar yağışı meydana geldiğinde, yoğunluğu hava sıcaklığının bir fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi tahmin edilir:

$$\text{RDNSN} = \text{RDCSN} + (\text{AIRTMP}/100,0)**2 \quad (2.5)$$

RDNSN = Yeni kar yağışının yoğunluğu (0°F = -17,8°C veya daha fazla sıcaklıklarda), sıvı su ile ilgili

RDCSN = Hava sıcaklığının sıfır derece F ve altında olduğu zaman yağın yeni karın yoğunluğunun suyun yoğunluğuna oranını belirten parametre

RDNSN, kar eklenmesinden dolayı kar kütesinin yeni derinliğini hesaplamak için EFFPRC'nin alt programında kullanılır. Bu ve diğer bütün kar yoğunluğu terimleri birim kar kütesinin derinliği başına (inç) birim su eşdeğeridir (inç).

Enerji dengesi seçeneği seçildiğinde açık olan gökyüzü parçası oranına (SKYCLR) bulutlardan kar kütesine doğru etki eden uzun dalga geri radyasyonunun hesaplanması için ihtiyaç duyulur (HEXCHR alt programında hesaplanır). Eğer bulut örtüsü bir zaman serisi olarak girdi ise, SKYCLR doğrudan ondan hesaplanır. Aksi halde, SKYCLR son yağış olayının olduğu zamandan itibaren tahmin edilir. Yağışın meydana gelmesi sırasında bir aralıkta, SKYCLR 0,15 minimum değerine ayarlanır. Olaylar arasında, her simülasyon zaman aralığında aşağıdaki şekilde artar:

$$\text{SKYCLR} = \text{SKYCLR} + (0,0004 * \text{DELT}) \quad (2.6)$$

DELT = Simülasyon zaman aralığı (dakika) gösterir.

SKYCLR, resetlemeye neden olan ya birliğe (unity) veya yağışa ulaşıncaya kadar artar.

### 2.2.2.b. Kütle Üzerine Yağış – EFFPRC

Bu alt programın amacı düşen karı kütleyle eklemek, kar kütesi üzerine düşen yağmurun miktarını belirlemek ve yeni kar miktarını dikkate almak için kar kütesinin “dullness” değerini ayarlamaktır.

Kar veya yağmur şeklinde düşen yağışın miktarı METEOR alt programında belirlenir. EFFPRC alt programı kar yağışı veya yağmurun arazi parçası üzerine olan etkisini açıklar. Bu alt program, kütle üzerine yağın miktarının kar yoğunluğuna bölünmesiyle analiz edilen, kar kütesinin derinliğinin artması ile başlar.

Kar kütesiyle örtülü arazi parçasının bölümü (SNOCOV), alansal kapsama indeksinin (COVINX) yeniden hesaplanmasıyla belirlenir. Kar kütesinin donmuş miktarı (PACKF), kar örtüsü tarafından alanın tamamen kaplanmasını sağlamak için gereken PACKF yüksekliğini açıklayan parametre eşiğini (COVIND) aştığı zaman, COVINX değeri COVIND'e eşit olarak ayarlanır. Aksi halde, COVINX, PACKF'in en büyük önceki değerine eşitlenir. Eğer PACKF < COVINX ise SNOCOV = PACKF / COVINX olur. Kar kütesi üzerine yağın yağmurun miktarı, yağmur olarak düşen yağış parçasının SNOCOV ile çarpılması sonucunda elde edilir. Kar kütesi üzerine düşen yağmur ya kütenin donmuş kısmına eklenip, aynı zamanda kütleli ısıtmak için kullanılan ısıyı üreterek (WARMUP alt programında) donar yada kütenin sıvı su muhtevasını artırır (LIQUID alt programında). Kar kütesinin üzerine düşmeyen yağmurun ise çiplak arazi üzerine düştüğü farz edilir.

Enerji dengesi seçeneği altında, kar kütesi yüzeyinin albedosu, RADHT radyasyon ısı akışını hesaplamak için kullanılır. Kar yağışı olduğunda, kar kütesinin “dullness” indeksi (DULL) bu zaman aralığı için kar yağışının bin katı kadar azaltılır. Buna rağmen, eğer kar yağışının bin katı, DULL un önceki değerinden büyükse, DULL mükemmel yansıtıcılığı olan karın yeni bir katmanı için hesaplama yapmak için sıfıra ayarlanır. Aksi halde, kar yağışı olmadığında, DULL maksimum 800'e kadar saat başına bir indeks birimi artar. Bu yüzden DULL fiziksel birimi olmayan, bir indeks olarak kullanılan ampirik bir terimdir. DULL, HEXCHR alt programında kısa dalga enerji hesaplamalarında sırasında kullanılan kar kütesinin albedosunu belirlemek için kullanılır.

### 2.5.2.c. Kütle Sıkışması (Compact) – COMPAC

Yeni karın eklenmesi, EFFPRC alt programındaki gibi kar kütesinin derinliğini artırmasının yanı sıra yoğunluğunu da azaltacaktır. Kütle, maksimum bir yoğunluğa ulaşıncaya kadar zamanla sıkışma eğiliminde olacaktır. COMPAC alt programının amacı sıkışma oranını belirlemek ve sıkışmadan dolayı derinlikteki gerçek değişimi hesaplamaktır.

Kar için bağıl yoğunluk %55'ten düşük olduğunda sıkışmanın gerçekleştiği farz edilir. Sıkışmanın oranı aşağıdaki ampirik ifadeye göre hesaplanır:

$$\text{COMPCT} = 1,0 - (0,00002 * \text{DELT60} * \text{PDEPTH} * (0,55 - \text{RDENPF})) \quad (2.7)$$

COMPCT = Aralık başına kar kütesi sıkışmasının birim oranı

DELT60 = Bir aralıktaki saatlerin sayısı

PDEPTH = Toplam kar kütesinin inç olarak kar kütesi derinliği

RDENPF = Sıvı suya göre kütlelerin yoğunluğu

PDEPTH için yeni değer COMPCT ile PDEPTH çarpımıdır. PDEPTH, LIQUID alt programında belirlendiği gibi sıvı su tutma kapasitesini etkileyen kar kütesinin bağıl yoğunluğunu hesaplamak için kullanılır.

### 2.2.2.d. Kütlelen Buharlaştırma – SNOWEV

SNOWEV alt programı enerji dengesi yöntemi kullanılmaya başlandığında kar kütesinden buharlaşmayı (süblimleşme) tahmin eder.

Kar kütesinden buharlaştırma sadece havanın buhar basıncı kar yüzeyindeki buhar basıncından daha az olduğunda gerçekleşir ki bu durum ancak hava buhar basıncının 6,108 mbar'dan daha az olduğu zaman meydana gelmektedir. Nitekim, bu değer kar kütesi üstündeki ince yüzey filmi halindeki havanın ulaşabildiği maksimum buhar basıncıdır. Bu şart karşılandığı zaman evaporasyon aşağıdaki ampirik ilişki ile hesaplanır:

$$\text{SNOWEP} = \text{SNOEVP} * 0,0002 * \text{WINMOV} * (\text{SATVAP} - \text{VAP}) * \text{SNOCOV} \quad (2.8)$$

SNOWEP = Kar kütesinin donmuş kısmından buharlaşmanın potansiyel oranı (su eşdeğeri/aralık, inç olarak)

SNOEVP = Arazi şartlarına göre hesaplamayı ayarlamak için kullanılan parametre

WINMOV = Rüzgâr akımı, hareketi (mil/zaman aralığı)

SATVAP = Mevcut hava sıcaklığında havanın doygun buhar basıncı (mbar)

VAP = Mevcut hava sıcaklığında havanın buhar basıncı (mbar)

SNOCOV = Kar kütesi tarafından kaplanan arazi parçasının bölümü (fraction)

Eğer yeterli kar kütesi varsa potansiyel evaporasyon (SNOWEP) gerçekleşecektir. Aksi takdirde, sadece kalan kütle buharlaşacaktır. Diğer durum için, buharlaştırma sadece kar kütesinin donmuş miktarından meydana gelecektir. Buharlaşmanın kütledeki ısı dengesine etkisinin önemsiz olduğu düşünülür.

### 2.2.2.e. Isı Değişim Oranları Tahmini – HEXCHR

Bu alt programın amacı, enerji dengesi yöntemi kullanıldığında yoğunlaşma, iletim ve radyasyondan dolayı atmosferden ısı değişimini tahmin etmektir.

Yoğunlaşma ile elde edilmiş ısının belirlenmesi yöntemi: Nemli hava kütleleri kar kütesi üzerinde gezindiğinde, yoğunlaşma gizli ısısının transferi önemli olabilir. Hava, kar kütesi üzerinde yoğunlaşacak kadar nemli olduğunda yoğunlaşma meydana gelir. Yani, havanın buhar basıncı 6,108 mbar'dan büyük olduğu zaman yoğunlaşma gözlenir. Bu fiziksel işlem kar buharlaşmasının tersidir. Bu durumda ısı, başka bir ampirik ilişki ile hesaplanarak üretilir:

$$\text{CONDHT} = 8,59 * (\text{VAP} - 6,108) * \text{CCFACT} * 0,00026 * \text{WINMOV} \quad (2.9)$$

CONDHT = Kar kütesine yoğunlaşma ısı akışı (su eşdeğeri/zaman aralığı, inç olarak)

VAP = Mevcut hava sıcaklığında havanın buhar basıncı (mbar)

CCFACT = Saha (alan, arazi) şartlarına göre erime değerlerini doğrulamak için kullanılan parametre

WINMOV = Rüzgâr akımı, hareketi (mil/zaman aralığı)

CONDHT sadece pozitif veya sıfır olabilir (yani kütleyle giren)

İletim ile elde edilmiş ısının belirlenmesi yöntemi: Atmosferdeki türbülans değişimi ile elde edilen ısı sadece, hava sıcaklıkları donma noktasından büyük olduğu zaman meydana gelebilir. Isının bu iletimi ampirik ifade ile hesaplanır:

$$\text{CONVHT} = (\text{AIRTMP} - 32,0) * (1,0 - 0,3 * \text{MELEV} / 10000,0) * \text{CCFACT} * 0,00026 * \text{WINMOV} \quad (2.10)$$

CONVHT = Kar kütesine iletim ısı akışı (su eşdeğeri/zaman aralığı, inç olarak)

AIRTMP = Hava sıcaklığı (°F)

MELEV = Deniz seviyesinden arazi parçasının ortalama yüksekliği (ft)

Bu simülasyonda, CONVHT sadece pozitif veya sıfır olabilir; yani, giren enerjidir.

Radyasyon ile elde edilmiş ısının belirlenmesi yöntemi: Radyasyon ile elde edilmiş ısı:

$$RADHT=(SHORT+LONG)/203,2 \quad (2.11)$$

RADHT = Kar kütesine radyasyon ısı akışı (su eşdeğeri/ zaman aralığı, inç olarak)

SHORT = Net güneş veya kısa dalga radyasyon (langley/ zaman aralığı) (1 Langley = 1 gram kalori/cm<sup>2</sup>)

LONG = Net karasal veya uzun dalga radyasyon (langley/ zaman aralığı)

203,2 sabiti 32 derece F'da kardan erimede, 1 inç yüksekliğinde su üretmek için gerekli olan langley miktarıdır.

RADHT pozitif veya negatif olabilir; yani, giren veya çıkan enerji olabilir.

SHORT ve LONG aşağıdaki gibi hesaplanır. Bir zaman serisine gerek duyulan güneş radyasyonu, albedo ve gölge etkisiyle değiştirilir. Kar kütesinin albedosu veya yansıtıcılığı kütlelen dullness değeri (DULL) ve sezonun bir fonksiyonudur. 6 yaz ayı için albedo değerleri (ALBEDO) aşağıdaki denklemle hesaplanır:

$$ALBEDO=0,80-0,10*(DULL/24,0)**0,5 \quad (2.12)$$

Kış aylarında ise albedo değerleri şu denklemle hesaplanır:

$$ALBEDO=0,85-0,07*(DULL/24,0)**0,5 \quad (2.13)$$

ALBEDO, yaz ayları için 0,45, kış ayları için ise 0,60 minimum değerine izin verir. Arazi parçasının dünya üzerindeki yarım küresel konumu yaz ve kış periyotlarının belirlemesi için yukarıdaki denklemler kullanıldığında dikkate alınır. Kuzey yarım küre için veri girişi pozitif olan enlem parametresi kullanılarak yapılır.

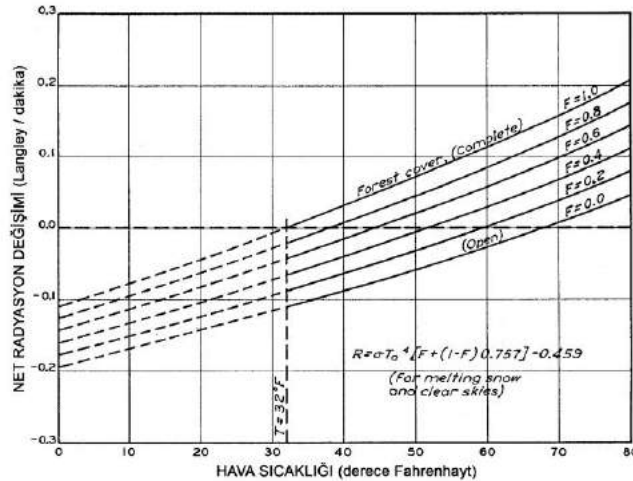
Kütlelen albedosu bir defa bulunduğu güneş radyasyonu (SHORT) aşağıdaki denkleme göre modifiye edilir (değiştirilir):

$$SHORT=SOLRAD*(1,0-ALBEDO)*(1,0-SHADE) \quad (2.14)$$

SOLRAD = Güneş radyasyonu (langley/aralık)

SHADE = Gölgeleşmiş arazi parçası oranını belirten parametre

Daha yaygın bir şekilde ölçülen kısa dalga radyasyonunun aksine, uzun dalga radyasyonu (LONG) kar kütesinin ve çevresinin yayma özelliklerinin teorik değerlendirmesinden tahmin edilir. Aşağıdaki denklemler, Stefan'ın Siyah Cisim Yasası'na dayanan eğrilerin (Şekil 2.3) lineer yaklaşımlarıdır ve sadece hava sıcaklığına bağlı sabitlerle değişir.



Şekil 2.3. SHADE etkisinin sıcaklığa bağlı olarak net uzun dalga radyasyon değişimine etkisi (Anonymous 1956)

LONG değeri donma noktasının üzerindeki hava sıcaklıkları için:

$$LONG=SHADE*0,26*RELTMP+(1,0-SHADE)*(0,2*RELTMP-6,6) \quad (2.15)$$

donma noktası ve altında hava sıcaklıkları için:

$$LONG=SHADE*0,20*RELTMP + (1,0-SHADE)*(0,17*RELTMP-6,6) \quad (2.16)$$

RELTMP = Hava sıcaklığı – 32 (°F)

6,6 = Açık alanlarda kar kütesinden ortalama geri radyasyon kaybı (langley/aralık)



denklemleri ile hesaplanır. Bu denklemdeki sabitler orijinal olarak saatlik zaman aralıklarına dayandığından, hesaplanmış değerlerin her ikisi de modelleme aralığı başına saatlerin sayısı (DEL60) ile çarpılır, böylece simülasyon zaman aralığına denk gelir. Ek olarak, modelde uzun dalga radyasyonunun negatif olduğu zaman dilimlerinde, bulutlardan yansıyan geri radyasyonu açıklamak için, LONG değeri açık gökyüzü oranıyla (SKYCLR) çarpılır.

### 2.2.2.f. Kütleden Isı Kaybı – COOLER

Bu kodun amacı, kar kütlelerinin çevresindeki havadan daha sıcak olduğu ve bu yüzden ısı kaybettiği zaman diliminde kar kütlelerini soğutmaktır. Bu durumda çıkan enerji kar kütlelerinin negatif ısı kapasitesine aktarılır ve daha sonra kütleye ısı girdiğinde WARMUP alt modülünde olduğu gibi erime gerçekleşmeden önce gelen ısı ile bu kayıp tedarik edilir.

Atmosfere ısı kaybının olduğu ve kar kütlelerinin sıcaklığının hava sıcaklığından fazla olduğu her aralıkta, negatif ısı depolaması artacaktır; yani, kütle soğuyacaktır. Buna rağmen, maksimum bir ısı depolaması vardır. Her zaman olabilecek maksimum negatif ısı depolaması, kar kütlelerinin en altındaki tabakanın 32°F (0°C) olduğu varsayımıyla, bu sıcaklığın üzerinde olduğu düşünülen hava sıcaklığından itibaren kütlede lineer bir sıcaklık dağılımı gerçekleştiği farz edilerek bulunur. Bu maksimum negatif ısı depolaması saatlik olarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$MNEGHS=0,00695*(PACKF/2,0)*(-RELTMP) \quad (2.17)$$

MNEGHS = Maksimum negatif ısı depolaması (inç olarak su eşdeğeri)

PACKF = Kar kütlelerinin donmuş muhtevasının su eşdeğeri (inç)

RELTMP = Donmanın üstünde hava sıcaklığı (°F)

Negatif ısı depolamasının birikimi aşağıdaki ampirik denklemden saatlik olarak hesaplanır:

$$NEGHT=0,0007*(PAKTMP-AIRTMP)*DEL60 \quad (2.18)$$

NEGHT = Kar kütlelerinin soğumasının potansiyel oranı (inç olarak aralık başına su eşdeğeri)

PAKTMP = Kar kütlelerinin ortalama sıcaklığı (°F)

AIRTMP = Hava sıcaklığı (°F)

DEL60 = Modelleme aralığı başına saatlerin sayısı

NEGHT, MNEGHS tarafından sınırlandırıldığı zamanlar haricinde negatif ısı depolamasına (NEGHTS) her model zaman aralığında eklenir. NEGHTS, SNOW esas alt programında kar kütlelerinin sıcaklığını hesaplamak için ve WARMUP alt programında kütlelerin 32°F'a ulaşmak için ısıtılması gereken büyüklüğü belirlemek için kullanılır.

### 2.2.2.g. Kar Kütlelerini Isıtmak – WARMUP

Bu alt program mümkün olduğu zaman kar kütlelerini 32°F'a kadar ısıtır.

Kütlede negatif ısı depolaması (COOLER alt programındaki NEGHTS) ve önceki alt programlarda hesaplandığı gibi net giren enerji var olduğu zaman, NEGHTS, daha sıcak bir kar kütleleri ve muhtemel erime ile sonuçlanarak, azalacaktır.

Bu alt programda hesaplamalar sadece muhasebe edilir. NEGHTS değeri, net gelen ısının çıkartılmasıyla sıfır minimumuna kadar azaltılır. Şeyet, negatif ısı depolaması kalırsa, kütleye gelen herhangi bir yağmurun donmasıyla açığa çıkan gizli ısı kütleye eklenir. NEGHTS ve diğer bütün ısı değişkenleri erimenin su eşdeğeri (inç veya mm) cinsinden birimleri olduğundan kütle üzerine düşen yağmur yüksekliği (inç veya mm) ve donma NEGHTS'den hiçbir değişim yapılmadan çıkarılır.

### 2.2.2.h. Kalan Isı Kullanılarak Kütlelerin Erilmesi – MELTER

MELTER, gelen ısının ne kadar kaldıysa bununla kütlelerin gerçek erimesini simüle eder. WARMUP alt programında kar kütlelerini ısıtmak için kullanılmayan herhangi bir ısı, kar kütlelerini eritmek için şimdi kullanılabilir.

Bu alt program sadece muhasebe yapan bir algoritmadır. Net gelen ısı miktarı erimenin su eşdeğeri cinsinden önceden hesaplanmıştır. Bu yüzden, herhangi kalan gelen ısı, kar kütlelerinin boyutuna bağlı olarak ya kısmi olarak ya da tamamen kar kütlelerini eritmek için doğrudan kullanılır.

### 2.2.2.i. Kütlede Sıvı Su – LIQUID

LIQUID alt programı öncelikle kar kütlelerinin sıvı depolama kapasitesini belirler. Sonra, depolama kapasitesini doldurmak için ne kadar sıvı suyun mümkün olabileceğini belirler. Kapasite üstündeki sıvı, su eğer donmazsa kar kütlelerinden ayrılır (ICING alt programı).

Kar kütlelerinin sıvı su tutma kapasitesi, sıfırda veya kütlelerin yoğunluğuna bağlı olarak arada bir yerde olabileceği gibi, MWATER parametresiyle belirlenen maksimum değerinde olabilir. Kar kütlelerinin yoğunluğu ne kadar az ise tutma kapasitesi o kadar büyüktür. Aşağıdaki ilişkiler kapasiteyi tanımlar:

MNEGHS= RDENPF>0,91 için,

$$PACKWC=0,0 \quad (2.19)$$

0,6<RDENPF<0,91 için,

$$PACKWC=MWATER*(3,0-3,33*RDENPF) \quad (2.20)$$

RDENPF<0,61 için,

$$PACKWC=MWATER \quad (2.21)$$

PACKWC = Kar kütlesinin sıvı su tutma kapasitesi (inç/inç)

MWATER = Kar kütlesinin maksimum sıvı su muhtevasını belirleyen parametre (inç/inç)

RDENPF = Kar kütlesinin sıvı su yoğunluğuna oranı

MWATER, buz katmanı kütlesinin, kar kristallerinin boyut, şekil ve boşluğu ile kanallaşmanın derecesinin ve kar kütlesinin petekleşmesinin bir fonksiyonudur.

PACKWC bir kere hesaplandığında hâlihazırda kar kütlesindeki mevcut olan sıvı su miktarı (PWSUPY) ile karşılaştırılır. PWSUPY aralığın başındaki hâlihazırda depolama ile herhangi bir erime ve donmamış kütlenin üzerine düşen yağmur toplanarak hesaplanır. Eğer, PWSUPY değeri PACKWC'den daha fazlaysa, su kar kütlesinden arazi yüzeyine akar.

### 2.2.2.j. Küttele Buzun Meydana Gelmesi – ICING

ICING alt programının amacı donmadığı takdirde kar kütlesinden ayrılacak suyun olası donmasını simüle etmektir. Sırasıyla bu donma kar kütlesinin altında buz veya donmuş zemin üretir. Bu alt programda buzun, kar kütlesinin altında olduğu veya kütlenin kar kısmının altında zemin içinde donmuş halde bulunarak toplam kütleyi zemine nüfuz ettirerek uzattığı düşünülebilir. Bu alt program sadece belirli alanlarda kabul edilebilir bu yüzden opsiyoneldir.

Kar kütlesinin su muhtevasının donması onu dondurmak için çevrenin kapasitesine bağlıdır. Her gün saat yaklaşık 6:00'da kapasite yeniden değerlendirilir. Yeni bir değer, havanın 32°F altındaki sıcaklıklarının Fahrenheit derecelerinin 0,01 ile çarpılması yoluyla erimenin inç cinsinden tahminiyle yapılır. Bu mevcut tahmin şayet önceki 24 saatlik periyottan herhangi bir değer kalmışsa o donma kapasitesiyle karşılaştırılır. Eğer büyükse, yeni tahmin edilen kapasite eskisiyle yer değiştirir yoksa eski değer potansiyel olarak kalır. Kar kütlesini terk edebilecek herhangi bir su akışı donar ve kapasite karşılanıncaya kadar kar kütlesinin buz kısmına eklenir. Geriye kalan su akışı ise kar kütlesinden bırakılır.

### 2.2.2.k. Zeminden Gelen Isı Kullanılarak Kütlenin Erimesi – GMELT

GMELT alt programının amacı kar kütlesinin altında bulunan yüzeyden iletilen ısının neden olduğu erimeyi simüle etmektir. Bu zemin ısı kütleyi sadece alttan eritir. Bu yüzden bu işlemdeki erime, kar kütlesinin sıcaklığı yolu ile dolaylı bir etkisi hariç daha önce hesaplanmış ısı etkilerinden bağımsız düşünülür. Diğer erime işlemlerinden farklı olarak, zemin ısı ilk olarak kar kütlesinin buz kısmını eritir çünkü buzun kar kütlesinin alt derinliklerinde olduğu düşünülür.

Zemin erimesinin potansiyel oranı kar kütlesi sıcaklığının (PAKTMP) ve yığılımlı (lumped) bir parametrenin (MGMELT) fonksiyonu olup, saatlik olarak hesaplanır. MGMELT 32°F'lık bir PAKTMP'de zeminden iletilen ısının neden olduğu su eşdeğeri birimindeki maksimum erime oranıdır. MGMELT zeminin ısı iletkenliğine ve normal zemin donma derinliğine bağlıdır.

MGMELT parametresinden azaltılan potansiyel zemin erimesi miktarı PAKTMP'nin 32°F altındaki her bir Fahrenheit derecesinin %3'ü mertebesinde olup minimal değeri toplamda 5 Fahrenheit veya daha düşük sıcaklıklarda MGMELT'i %19'una kadar azaltabilir. Kar kütlesi olduğu sürece zemin erimesi bu potansiyel oranda meydana gelir.

#### 2.2.2.1. Kar Kütlesi Kaybolduğu Zaman Durum Değişkenlerini Sıfırlamak –NOPACK

Bu kod, kar kütlesi tamamen kaybolduğu zaman durum değişkenlerini (örneğin SNOCOV) sıfırlar (resetler).

Karın alansal örtüsü (COVINX) için gerekli olan kar kütlesinin donmuş muhtevası arazinin tamamen karla kaplı olduğu varsayılan maksimum değer (COVIND) onda birine ayarlanır. Diğer bütün değişkenlere ya sıfır yada -1,0E30 tanımsız değeri atanır.

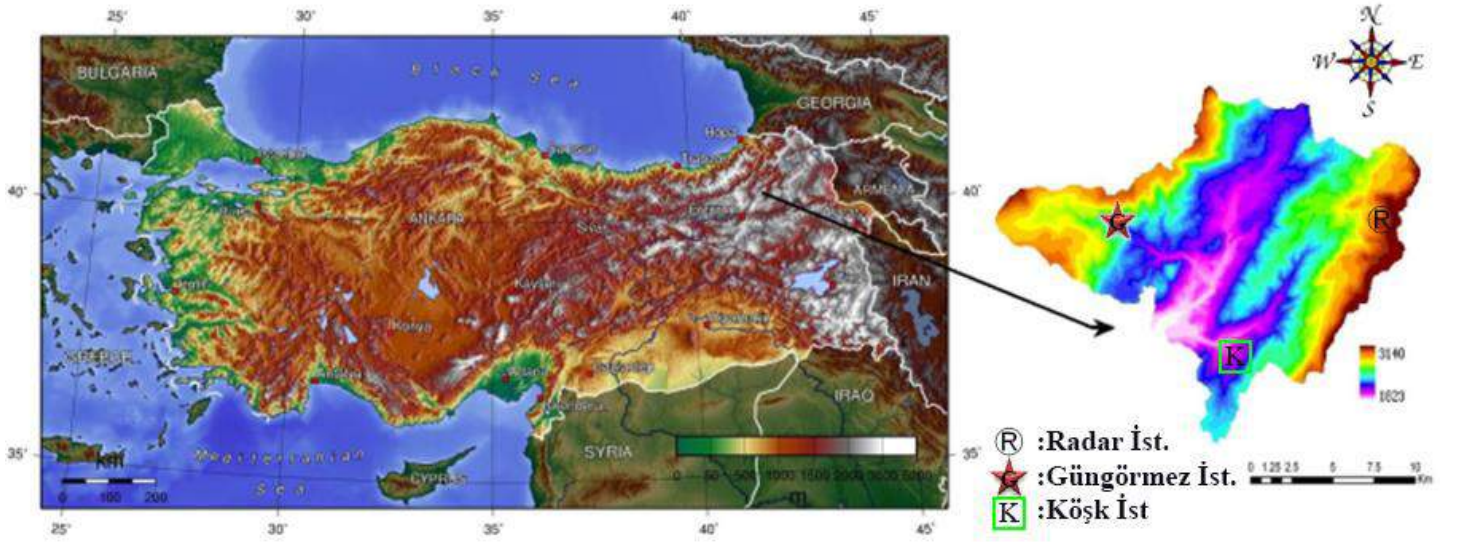
## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Veri Analizi

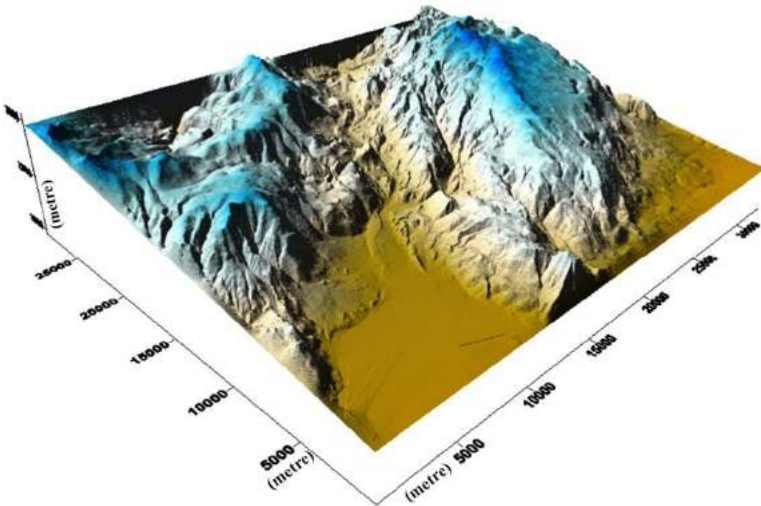
BASINS sisteminin çekirdeğini oluşturan HSPF modeli ile Kırkgöze Havzası ve alt havzalarının hidrolojik benzetimlerini etkili bir şekilde ortaya koyabilmek adına havzada kar erimesinin etkili olduğu göz önüne alınmış olup, havzanın su ve enerji dengesini karakterize etmek için daha önceden yapılan çalışmalarla (Şengül, 2011) havza alanına ait Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) haritası, Akarsu ağı haritası, Arazi kullanım haritası (bitki örtüsü), Zemin özellikleri haritası, Jeoloji ve hidrojeoloji haritası, Yükseklik zonları haritası, Eğim ve bakı haritaları, Güneş radyasyonu dağılım haritası, Alt havza sınırları haritası, Karla kaplı alanlar için uydu görüntüleri verileri bilgisayar ortamında Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak birbiri ile ilişkilendirilmiş ve analiz edilerek havza karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Havzanın 1/25000'lik topoğrafik haritaları optik tarayıcı ile taranarak bilgisayar ortamına raster formatında aktarılmıştır. Bu raster veriler UTM koordinat sistemine uygun olarak jeoreferanslanmış ve dünya üzerindeki gerçek yerine oturtulmuştur. Bu haritalar üzerindeki eş yükselti eğrileri ve akarsu yatakları el ile sayısallaştırılmış, arazide GPS cihazı ile yapılan çalışmalar sonucunda zamanla değişen akarsu yatakları tespit edilmiş ve TNTMips programı kullanılarak havzaya ait SYM elde edilmiştir. SYM'ne yüzey eklenerek arazinin 3 boyutlu görüntüsü elde edilmiştir (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2).

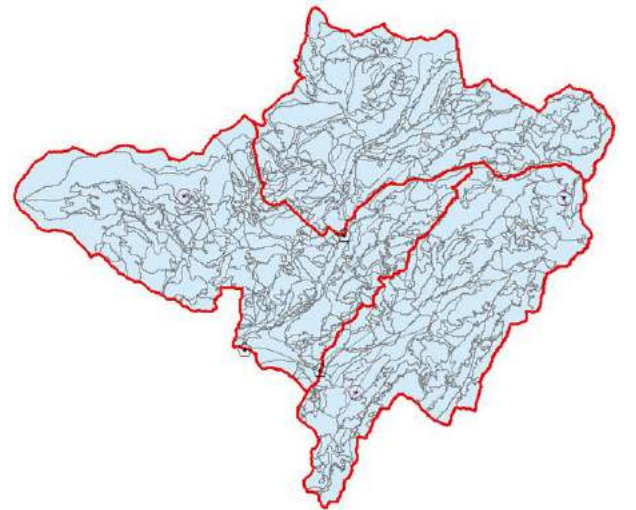
Havza genelinde mekânsal olarak farklılık gösteren alanlar arazi topoğrafyasının ve havzanın hidrojeolojik davranışının kurulan kar erime modeli üzerinde etkili olduğu bilinen birtakım kriterler esas alınarak belirlenmiştir. Buna göre ilk olarak tüm havza geneli 6 farklı tasnif metoduna göre farklı katmanlar halinde BASINS ortamında yardımcı CBS yazılımları ile desteklenerek karakterize edilmiştir (Yükseklik Zonları (6'lı Sınıflandırma), Erime dönemi güneş açısına göre arazinin Solar Radyasyon Dağılımı (5'li sınıflandırma), Hidrojeolojik Toprak Katmanları (8'li sınıflandırma), Alt Havzalar (7'li sınıflandırma), Arazi Eğimi (2'li sınıflandırma: 0-15,3 , 15,3-45 derece), Arazi Kullanımı (9'lu sınıflandırma)). Katmanların daha sonra üst üste bindirilmesi ile ilk etapta değişik eş karakteristiklere sahip toplam 491 adet poligonal arazi sınıflandırması oluşmuştur. Kurulacak hidrojeolojik modelde parametre sayısını azaltmak adına bir optimizasyon algoritması geliştirilerek tüm havza alanının %2 lik kısmını ifade eden 193 adet küçük poligon alanları kendilerine sınırca en büyük poligon alanına dahil edilmiş ve böylece nihai olarak Kırkgöze havzası, toplamda 309 farklı eş karakteristik yapı ile ifade edilmiştir. Bu çalışmada havzada farklı karakteristik noktalara kurularak işletilen 3 adet meteoroloji ve kar gözlem istasyonlarının bulunduğu 3 farklı eş karakteristikli poligonal arazi alanı üzerinde gerekli inceleme ve tahminlerde bulunulacaktır (Şekil 3.3). Yani istasyonlardan noktasal olarak alınan meteorolojik ham veriler kar kütlesinin üzerinde bulunduğu arazinin alansal homojenitesi ile beraber değerlendirilmektedir. Böylelikle özellikle dağlık alanlarda oldukça değişken yüzey topoğrafyasının erime üzerindeki etkileri de daha anlaşılır olacaktır. Örneğin istasyonlar normal olarak tesviye edilmiş düz bir arazi üzerinde konumlandırılmış olsalar da tümleşik kar kütlesinin dinamiklerine etki eden arazi yüksekliği, ortalama arazi eğimi, arazi kullanımı vb. diğer değişkenlerin de başka eş karakteristikli arazi yapıları ile olan uyumu ve ilişkisi de incelenebilir olmaktadır. Böylelikle ileride yapılacak olan diğer geniş kapsamlı kar erimesi-akış çalışmaları karakteristlik özelliği bilinen göreceli olarak noktasal ölçekten elde edilen kar parametrelerinin manipülasyonuna imkân tanınarak elde edilen parametrelerin gerçek anlamda havza üzerindeki alansal dağılımına geçiş imkânı sağlanmış olacaktır. Bu noktada çalışmada kullanılan yöntemin 3 farklı özellikteki istasyon konumundan elde edilen sonuçları kavramsal olarak ilişkilendirebilmesi de ayrıca önemlidir.



Şekil 3.1. Çalışma alanı (Kırkgöze Havzası) eş yükselti haritası ve istasyon konumları



Şekil 3.2. Havzanın SYM'den elde edilen 3 boyutlu görüntüsü



Şekil 3.3. Nihai eş karakteristikli poligon sınıflandırması



### 3.2. Meteorolojik Veriler

HSPF model programı hidrolojik süreçlerin arkasındaki itici güç olarak meteorolojik zaman serilerine gerek duymaktadır.

HSPF model programı, kar erimesinin etkili olduğu havzalarda enerji dengesi metodu ile hidrolojik modelleme yapabilmek için Tablo 3.1'de verilen 7 meteorolojik zaman serisine ihtiyaç duymaktadır.

Tablo 3.1. HSPF'de enerji dengesi metodu ile kar simülasyonlarını gerçekleştirebilmek için kullanılan meteorolojik zaman serileri

Zaman Serileri
Hava sıcaklığı
Çiğ noktası sıcaklığı
Yağış
Bulutluluk (Opsiyonel)
Rüzgâr hızı
Potansiyel evapotranspirasyon
Güneş ışıması (solar radyasyon)



Şekil 3.4. Köşk Köyü meteoroloji ve kar gözlem istasyonu

HSPF model programı 5 dakikaya kadar inebilen aralıklarla modelleme gerçekleştirebilmektedir. Literatürde havza çalışmalarında genellikle saatlik zaman aralıklarında veriler kullanılarak modelleme yapılmıştır. Kırkgöze (Çipak) havzasının dağlık bir alan olması ve kar erimesinin gün içerisindeki salınımlardan önemli ölçüde etkilendiği göz önüne alındığında meteoroloji istasyonlarından alınan 15'er dakikalık çözünürlükteki veri simülasyon süresinin optimum bir bakış açısıyla kısaltılması ve değişkenler arasındaki kavramsal ilişkinin kaybolmaması amacıyla 1'er saatlik çözünürlüğe indirgenerek kullanılmıştır.

Havzada belirlenen 2019 m, 2454 m ve 2891 m yüksekliklerdeki uygun yerlere üç adet otomatik meteoroloji ve kar gözlem istasyonları önceden kurulmuştur olup sensörler güncellenerek bakımları gerçekleştirilmektedir (Şekil 3.4). Kar potansiyeli yüksek olan dağlık bir havza içerisindeki farklı bakı ve yüksekliklerde üç istasyondan alınan iklim verilerinin yeterli, kaliteli ve gerçek zamanlı toplanabildiği gösterilmiştir (R. Acar, Şenocak, & Şengül, 2009; R. Acar, Şenocak, Şengül, Coşkun, & Balık Şanlı, 2009).

Otomatik meteoroloji istasyonları ve kar yastığı yardımıyla gün içerisinde her 15 dakikalık dilimler için maksimum rüzgâr hızı (m/sn), rüzgâr yönü, hava basıncı (mbar), ortalama hava sıcaklığı (°C), ortalama hava nemi (%rh), ortalama toprak sıcaklığı (°C), Güneş radyasyonu (W/m<sup>2</sup>), ortalama albedo, yağış (mm), kar yüksekliği (cm), kar yoğunluğu (gr/cm<sup>3</sup>) ve kar su eşdeğeri (cm) verileri GSM haberleşme cihazı yardımıyla alınmaktadır. Gözlem istasyonlarından elde edilen meteorolojik veriler 15'er dakikalık zaman periyotlarında kaydedilmektedir. Erzurum Kırkgöze (Çipak) havzasında 2891 metrede kurulmuş olan Radar otomatik meteoroloji ve kar gözlem istasyonundaki iklim koşulları Aralık 2007 ile Temmuz 2009 zaman aralığı için karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir (Şenocak, 2011). Benzer bir çalışma Aralık 2007 ile Haziran 2008 zaman aralığı değerleri için de yapılmıştır (R. Acar et al., 2009).

### 3.3. HSPF Modelinde Hava Sıcaklığı Yükseklik Farkı (ATEMP) ile İlgili Analizler

Her bir poligon alanının ölçüm yapılan istasyonla arasındaki yükseklik farkı (ELDAT) CBS ile hesaplanmış ve iterasyona başlamak için simülasyon başlangıcında her bir poligonun başlangıç hava sıcaklıkları yüksekliğe bağlı olarak elde edilmiştir. Bu çalışmada istasyonların bulunduğu arazi üzerinde noktasal olarak modelleme yapıldığından ELDAT değerleri sıfır özgül değerine indirgenmiştir.

### 3.4. HSPF Modelinde İstasyonlardaki Kar, Buzlanma ve Erime Süreçleri ile İlgili Analizler

Geçirimli arazi parçaları için HSPF benzetimleri yapılırken kar ile ilgili işlemlerin araziye en iyi şekilde karakterize etmesi için bir takım giriş parametrelerine ihtiyaç duyulur. Bölüm 2.2’de kar ile ilgili süreçlerin birbiri ile kavramsal olarak ilişkilendirilmesi ve ilgili bölgede değişkenlerin birbirlerini hangi oranda etkilediğinin belirlenebilmesi için modelde bu bölümde bahsedilen bir takım parametrelerin farklı yıllarda kalibre edilerek özgün ve güvenilir değerler alması gerekmektedir. Çalışmada noktasal ölçekte istasyon lokasyonlarından elde edilen bu parametreler 2008-2009, 2009-2010 kar periyodunda kalibre edilmiş (Şengül, 2011) ve 2010-2011 yılında ölçülen değerler ile yeniden güncellenerek valide edilmiştir. Nihai olarak meteoroloji istasyonları ve kar yastıklarından gözlemlenen kar yüksekliği ve kar su eşdeğeri verileri ile kalibre edilen noktasal ölçekteki parametreler belirli bir sistematik doğrultusunda araziye dağıtılarak gerçek havza davranışı akım gözlem istasyonlarından ölçülen debi değerleri ile karşılaştırılarak havzanın su bütçesi hesabına geçilebilir. Bu çalışmada su bütçesi kalibrasyon yönteminin hesap detaylarına değinilmemiştir.

SNOW modülünde arazi ve kar yapısını karakterize edebilmek için ICE-FLAGS, SNOW-FLAGS, SNOW-PARM1 ve SNOW-PARM2 tablolarının her bir eş karakterli poligon alanı için işlenmesi ve kalibre edilmesi gerekmektedir.

#### 3.4.1. ICE-FLAGS Tablosu

Bu tablo ile her bir arazi parçasında biriken kar kütlesi içinde buz formasyonunun oluşup oluşmadığı ve buna bağlı olarak ICING modülünün çalıştırılıp çalıştırılmayacağı komutu girilir. “1” girdisi ile kar kütlesinin taban kısmında buzlanma olduğu, “0” girdisi ile arazide buzlanmanın olmadığı ve dolayısıyla zeminde de infiltrasyon özelliğine etki edecek herhangi bir donmanın olmadığı belirtilir.

Çalışma alanının yüksek rakımlı dağlık bir alan olması nedeniyle bütün istasyon alanlarında buzlanma (ICING) modülü etkinleştirilmiştir. Ayrıca, arazi gözlemleri esnasında kar tüpü ile alınan karotların alt kısımlarında buzlanma olduğu da belirlenmiştir.

#### 3.4.2. SNOW-FLAGS Tablosu

Bu tablo ile modellemenin derece-gün yöntemi (sıcaklık indeksi yöntemi) ile mi yoksa enerji dengesi metodu ile mi yapılacağını belirten anahtarlar vardır.

Bu çalışmada kar ile ilgili modellemeler enerji dengesi metodu seçilerek yürütülmüştür.

#### 3.4.3. SNOW-PARM1 Tablosu

**LAT–Latitude:** LAT parametresi girişi çalışma havzasının enlemini ifade eder. Kuzey yarım küre için pozitif, güney yarım küre için negatif değerler alır. Modelde mevsim aralıklarının tayini için kullanılır ve yüzey albedosunun alabileceği maksimum ve minimum değerlere etki eder.

Kırkgöze havzası 40. enleminde bulunduğundan bütün arazi parçalarına 40 değeri girilmiştir.

**MELEV–Mean Elevation:** Atmosferden kar kütlesine konvektif ısı akışını hesaplamak için kullanılan bir parametredir. Her bir arazi parçasının deniz seviyesinden yüksekliğinin feet biriminden ifadesidir.

Her bir istasyonu barındıran poligon alanının ortalama rakımları, CBS araçları kullanılarak SYM haritasından elde edilip tabloya işlenmiştir.

**SHADE:** Her bir arazi parçasının ağaçlar veya yamaçlardan ötürü gölgelenme oranınıdır. SHADE kar kütlesine ulaşan güneş radyasyonunu kontrol eder. Ayrıca modelde Stefan’ın Siyah Cisim Yasası’na dayanarak uzun dalga radyasyon hesaplamalarında kullanılır.

SHADE, başlangıçta 0 değeri ile modellemeye başlanmış olup daha sonra kar yastıklarından elde edilen kar yüksekleri ve kar su eşdeğeri verileri, simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Gerçekleştirilen kalibrasyonlar sonucunda Köşk, Güngörmez ve Radar istasyonları için sırasıyla 0,43, 0,6 ve 0,72 değerleri bulunmuştur. SHADE parametresi SNOW modülünde net kısa dalga radyasyonu hesaplanırken bir albedo düzeltme katsayısı olarak işlev görmektedir (Denklem 2.14).

SHADE parametresi 1’e yaklaştıkça, kar yüzeyinin gelen kısa dalga radyasyonunu yansıtması artacak ve kütleyle tesir eden net kısa dalga radyasyon miktarını azaltacaktır. Farklı yüksekliklerdeki istasyonlardan kalibrasyon ile elde edilen değerlerin üst kotlara çıkıldıkça artması, dağlık alanlarda yüksek rakımlarda kısa dalga radyasyonun daha az etkili olmasının bir göstergesidir. Bu durumun ayrıca, dağlık alanlarda düşük kotlardaki erken erime neticesinde açığa çıkan yüzeysel kirliliğin rüzgârlarla kar kaplı alanların üzerine taşınması ile yüzey kirliliğinin alt kotlardan üst kotlara doğru azalmasının bir sonucu olduğu da düşünülebilir.

**SNOWCF–Snow Coefficient:** Rüzgâr kalkamı olmayan yağışölçerlerde yağışın kar şeklinde olması durumunda, rüzgâr hızına ve yağışölçerin yapısına bağlı olarak yağışın bir kısmının ölçüm haznesine girmeyeceği belirtilmiştir. Bu durumda, kar olarak yağın yağış SNOWCF ile belirtilen bir düzeltme katsayısı ile çarpılır.

Bu çalışmada, istasyonlarda bulunan yağışölçerlerin yüksek yağış ve aşırı soğuk nedeniyle kış aylarında etkin bir şekilde kullanılamamasından ötürü, yağış miktarları kar yastığından alınan kar su eşdeğerleri ile simüle edilmiştir. Dolayısıyla bu katsayı bütün arazi parçalarında 1 olarak alınmıştır.

**COVIND–Cover Index:** Arazi parçasının tümü karla kaplandığında arazi parçasındaki maksimum kar yüksekliğinin, su eşdeğeri olarak yüksekliğidir (inç). COVIND arazi topolojisinin ve iklim koşullarının bir fonksiyonudur. ARM modeli kullanma kılavuzunda (Donigian & Davis, 1978) eşdeğer bir parametre olan MPACK değişkeni için 1-6 inç arasında değerler önerilmiştir. Düzlük alanların daha fazla olduğu ve kar yağışının etkin olduğu arazilerde genellikle alt sınıra yakın değerler kullanılmaktadır. Dağlık havzalarda ise,



arazinin tamamen karla kaplanması için çok daha fazla kar yağışı gerektiğinden COVIND değeri üst sınıra yakın olur. COVIND su eşdeğeri cinsinden girildiği için 1 inçlik bir değer esasen yaklaşık 10 inçlik kar yüksekliğine karşılık gelmektedir.

#### 3.4.4. SNOW-PARM2 Tablosu

**RDCSN:** Hava sıcaklığı 0 derece Fahrenheit (-17,78°C) veya daha düşük sıcaklıklarda iken yeni yağan kar yoğunluğunun suyun yoğunluğuna oranıdır. Tahmini bir değerle simülasyona başlandıktan sonra kalibre edilmesi gereklidir. Kalibrasyon yapılırken arazi verilerinden elde edilen kar yüksekliği ve kar yoğunluğu değerleri analiz edilir. RDCSN parametresi model çalışırken hava sıcaklığına bağlı olarak otomatik olarak yeniden hesaplanır. Kar yoğunluğu/sıcaklık bağıntısı B. R. Bicknell, Imhoff, Kittle Jr, Donigian Jr, and Johanson (1997) tarafından açıklanmıştır.

İstasyonlarda kar yastığından elde edilen veriler ışığında kar yüksekliği ve kar yoğunluğu değerleri göz önüne alınarak kalibrasyon yapılmıştır. Köşk, Güngörmez ve Radar istasyonları için sırasıyla 0,14, 0,16 ve 0,16 değerleri bulunmuştur.

**TSNOW:** Doygun şartlarda yağışın hangi ıslak termometre sıcaklığının altında kar olarak yağdığını belirten bir parametredir. Derece Fahrenheit olarak girilir. Tahmini bir değerle simülasyona başlandıktan sonra kalibre edilmesi gereklidir. Literatürde 31-33 derece F arasında değerler kullanılmıştır (Donigian & Davis, 1978). Hava sıcaklığı TSNOW eşliğini aştığı zaman yağmur yağışı, aksi takdirde kar yağışı olarak simüle edilir. HSPF simülasyonlarında TSNOW eşliği olarak 30-40 derece Fahrenheit (-1,11 ~ +4,44°C) arasında değer girilebilir. Başlangıç değeri olarak 32°F (0°C) ile simülasyona başlanması önerilmektedir. Crawford (1999)'a göre TSNOW kar birikmesine etki eden en önemli parametrelerden birisidir. Her halükârda TSNOW parametresi 32 derece Fahrenheit civarında yağın yağışların simülasyonunda önem arz eder. Şayet kış aylarında tipik kar yağışı 30 derece F (-1,11°C)'ın altında oluyorsa TSNOW'un etkisi küçük veya önemsenmeyecek kadardır.

Özellikle erime döneminin sonlarında etkisi açıkça gözlenen TSNOW parametresi, istasyonlardaki kar yükseklikleri ve kar su eşdeğerlerinin değişimi incelenerek analiz edilmiştir. Kalibrasyonlar sonucunda yağmurdan ötürü meydana gelen kar yüksekliğindeki ani değişimler gözlenmiş verilere uygun olarak simüle edilmiştir. Kuzey bakısına sahip Köşk ve Radar istasyonlarında sırasıyla 36°F (2,22°C) ve 40°F (4,44°C), güney bakısına sahip Güngörmez istasyonunda ise 31,6°F (-0,22°C) değerleri elde edilmiştir. Simülasyonlarda TSNOW parametresinin maksimum değeri 40°F'dır.

**SNOEVP:** Kar kütesinden süblimleşme ile evaporasyonun ölçüsünü ayarlayan birimsiz bir parametredir. Literatürde 0,1 civarındaki değerlerin kabul edilebilir olduğu gösterilmiştir (Donigian & Davis, 1978). Kar kütesinden evaporasyon havanın buhar basıncının kar yüzey basıncından daha az olduğu zaman gerçekleşir (B. R. Bicknell et al., 1997). Evaporasyon, rüzgâr hızının ve karla kaplı arazi yüzdesinin bir fonksiyonu olarak, kar kütesinin sadece donmuş olan kısmından gerçekleşir. Kar evaporasyonu çoğu havzada büyük ölçülerde olmaz ancak rüzgârlı ve düşük nemli şartlar altında etkilidir (Crawford, 1999).

Kırkgöze havzası için kar yüksekliği ve kar su eşdeğeri simülasyonlar sonucunda kalibre edilerek, tüm istasyonlar için 0,05 değeri kullanılmıştır.

**CCFACT:** Kar Arazi şartlarına göre atmosferden kar kütesine konveksiyon ve kondansasyon yoluyla ısı transferinin oranını belirleyen birimsiz bir parametredir. Tahmin edilerek kalibrasyonu gerçekleştirilir. CCFACT iklim şartlarının bir fonksiyonudur. Rüzgâr hızı ve hava sıcaklığı değişkenleri ile ısı transferini modeller. Literatürdeki tipik değeri 1,0 civarında olup, genelde 0,5 ile 2,0 arasında değerler gözlenmiştir. HSPF simülasyonlarında 0,5-8 arasında değer alabilmektedir.

Kar erimesinde çok etkili bir parametre olan erime oranının bir ifadesi olan CCFACT parametresi erime zamanının tayininde etkilidir. İstasyonlardaki kar erimesi ve kar yüksekliğindeki değişim gözlenerek kalibre edilmiştir. Köşk, Güngörmez ve Radar istasyonları için sırasıyla 0,5, 1,7 ve 2,0 değerleri bulunmuştur. CCFACT değeri arttıkça erime dönemi zamanda ötelenmektedir.

**MWATER:** Kar kütesindeki maksimum sıvı su tutma kapasitesidir (inç/inç). MWATER, kar kütesinde biriken suyun sızmasını engelleyen buz katmanları ile kar kristallerinin boyut, şekil ve boşluğunun; ayrıca, kütledeki kanallaşma derecesi ve petek örgüsünün bir fonksiyonudur. Literatürde deneysel sonuçlar ile elde edilen bu değer 0,01'den 0,05'e kadar değişim gösterirken genelde 0,03 ortalama değeri alınır (Donigian & Davis, 1978). HSPF modelinde minimum 0,005 ile maksimum 0,2 aralığında fiziksel olarak anlamlı bir aralıkta kullanılabilir.

Kar yastıklarından elde edilen kar su eşdeğeri birikme ve çekilme eğrilerinin karakteristik simülasyonu; ancak, MWATER parametresinin ekstrem bir değeri olan 0,2 değerini aldığı gerçeğe değerler ile örtüşmektedir. Bu durum dağlık alanlarda gün içindeki ısı değişiminin fazla olması neticesinde, kar kütesinin katman katman tabakalaşması sonucunda kütle içindeki serbest suyu bırakmaması ile açıklanabilir. Ayrıca erime döneminde yapılan arazi gezilerinde, erimeye başlayan kar kütesinin neredeyse yarım metreye yakın kısmının su kıvamında olduğu gözlenmiş, kar hediği takılmasına rağmen bazı yerlerde yürümenin neredeyse imkânsız hale geldiği tecrübe edilmiştir.

MWATER parametresi bütün havzada 0,2 olarak dağıtılmıştır.

**MGMELT:** Zemin ısısından ötürü meydana gelen maksimum günlük kar erimesini ifade eden bir parametredir (inç/gün). MGMELT oranı kar kütesinin sıcaklığı 32 derece F (0°C) olduğu zaman simülasyona dâhil olur.

Zeminden kar örtüsünün tabanına ısı iletimi genellikle erime için oldukça küçük bir enerji kaynağıdır. Bu ısı akışı karın üzerinde bulunduğu zeminden kar örtüsüne doğru hareket eder. Zeminde kar örtüsü yokken yaz dönemi boyunca zemin tarafından depolanarak kar örtüsünün erimesine katkıda bulunan enerji, kış ve baharın ilk dönemlerinde kar tabanının altında erimeye neden olur (Anonymous, 1998; Singh & Singh, 2001). Kar örtüsünün erime döneminde zeminden kaynaklı erimenin 0,05 cm/gün alınması önerilir (Anonymous, 1956). MGMELT parametresi bütün çalışma havzasında 0,02 inç/gün (0,0508 cm/gün) olarak dağıtılmıştır.

### 3.5. ATEMP ve SNOW Parametreleri ve Değer Aralıkları

HSPF simülasyonlarında kullanılan ATEMP ve SNOW modüllerinin kullanıcı tanımlı giriş parametreleri ve sınır değerleri Tablo 3.2’de gösterilmiştir. Modelleme yapılırken kalibrasyon değerleri verilen aralıklarda girilmiştir.

Tablo 3.2. ATEMP ve SNOW modüllerinin kullanıcı tanımlı giriş parametreleri ve sınır değerleri

ADI	BİRİM	DEĞER ARALIKLARI				FONKSİYON
		GENEL		OLASI		
		ALT	ÜST	ALT	ÜST	
<b>ATEMP - DAT</b>						
<b>ELDAT</b>	feet	-1000	1000	-	-	Topoğrafya, istasyon konumu
<b>AIRTMP</b>	°F	30,0	70,0	0	90,0	İklim
<b>SNOW-PARM 1</b>						
<b>LAT</b>	derece	30	50	-90	90	Konum
<b>MELEV</b>	feet	50	3000	0	7000	Topoğrafya
<b>SHADE</b>	-	0,1	0,5	0	0,8	Orman oranı, topoğrafya
<b>SNOWCF</b>	-	1,1	1,5	1,0	2,0	Yağışölçer tipi ve konumu
<b>COVIND</b>	inç	1,0	3,0	0,1	10	Topoğrafya, iklim
<b>SNOW-PARM 2</b>						
<b>RDCSN</b>	-	0,1	0,2	0,05	0,3	İklim, hava sıcaklığı
<b>TSNOW</b>	°F	31	33	30	40	İklim, hava sıcaklığı
<b>SNOEVP</b>	-	0,10	0,15	0	0,5	İklim, hava sıcaklığı
<b>CCFACT</b>	-	1,0	2,0	0,5	8,0	İklim
<b>MWATER</b>	inç/inç	0,01	0,05	0,005	0,2	İklim
<b>MGMELT</b>	inç/gün	0,01	0,03	0	0,1	İklim, jeoloji

### 3.6. PWATER Su Bütçesi Parametreleri

Çalışmada kar kütesinden salınan serbest su miktarının (WYIELD) ilgili zaman diliminde varsa yağmur yüksekliği ile toplanarak istasyon konumlarındaki eş karakteristikli arazi parçaları üzerinde oluşturacağı yüzeysel ve iç akış yüksekliklerinin (SURO ve PERO) hesaplanmasında kullanılan PWATER parametreleri modelde kullanıldığı İngiliz birim sistemi orjininde Tablo 3.3’de verildiği üzere özetlenebilir. Konu ile ilgili olarak detaylı bilgi için HSPF kullanım klavuzuna (B. Bicknell, Imhoff, Kittle Jr, Jobes, & Donigian Jr, 2001) başvurulabilir.

Tablo 3.3. PWATER Su Bütçesi Parametreleri

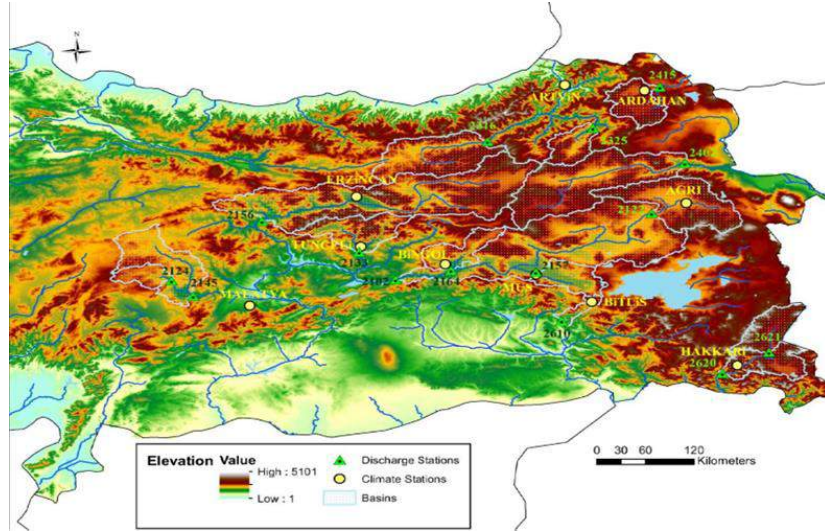
Meteoroloji İstasyonu Konumu	Polygon No	Arazi Kullanımı	Eş Karakterli Alan (m <sup>2</sup> )	LZSN	INFILT	LSUR	SLSUR	KVARY	AGWRC	UZSN	NSUR	INTFW	IRC	LZETP
KÖŞK	305	Kuru Tarım	835601	8.5	0.16	147	0.18	0.5	0.995	0.68	0.2	1	0.65	0.6
GÜNGÖRMEZ	120	Değişim Alanı	3522320	8.5	0.05	50	0.293	0.5	0.995	0.51	0.2	1	0.38	0.6
RADAR	404	Değişim Alanı	2924080	15	0.07	64	0.131	0.5	0.995	0.595	0.2	1	0.61	0.6

### 3.7. İklim Değişikliği Parametreleri

Güventürk (2013) ‘İklim Değişikliğinin Türkiye’nin Doğusunda Dağlık Alanlardaki Su Kaynaklarına Etkisi’ isimli çalışmasında Türkiye’nin doğusundaki dağlık alanlarda (Şekil 3.5) meteorolojik verilerin 40 yıllık trend analizlerini gerçekleştirmiş ve ilgili istasyonlarda sıcaklık ve yağış trendlerini yıllık ortalama, kar birikme sezonu ve kar erime sezonu için farklı istatistik metodlar (non-parametrik Mann-Kendall ve Spearman's Rho testi) kullanarak ortaya koymuştur. Yapılan bu çalışma daha sonra aynı bölgedeki nehir akımlarının trendleri de incelenerek kapsamı genişletilmiştir (Yucel et al., 2015). Çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının isimleri, data periyotları ve yükseklikleri Tablo 3.4’de sunulduğu gibidir.

Tablo 3.4. Meteoroloji istasyonlarının isimleri data periyotları ve yükseklikleri (Güventürk, 2013)

Numarası	İstasyon	Data Periyodu	Yükseklik (m)	Numarası	İstasyon	Data Periyodu	Yükseklik (m)
17199	MALATYA	1970-2010	947	17094	ERZİNCAN	1970-2010	1218
17203	BİNGÖL	1970-2010	1177	17848	BİTLİS	1970-2010	1573
17165	TUNCELİ	1970-2010	981	17285	HAKKARİ	1970-2010	1727
17204	MUŞ	1970-2010	1322	17630	ARDAHAN	1970-2010	1829
17099	AĞRI	1970-2010	1632	17045	ARTVİN	1970-2010	628



Şekil 3.5. Trend analizi yapılan akım gözlem ve meteoroloji istasyonları (Güventürk, 2013)

Tablo 3.5. Seçilen istasyonlarda 1970-2010 yılları için sıcaklık değişimleri (Güventürk, 2013)

İSTASYON	MAKSİMUM SICAKLIK (°C)	MİNİMUM SICAKLIK (°C)	ORTALAMA SICAKLIK (°C)	KASIM - ŞUBAT ORTALAMA SICAKLIK (°C)	MART – HAZİRAN ORTALAMA SICAKLIK (°C)
MALATYA	+ 2.0	+ 1.2	+ 1.6	+ 1.6	+ 1.6
BİNGÖL	+ 0.5	0.0	+ 0.1	+ 0.4	+ 0.6
TUNCELİ	+ 2.0	+ 1.0	+ 1.0	+ 1.6	+ 1.2
MUŞ	+ 1.5	+ 2.5	+ 2.0	+ 2.3	+ 2.8
AĞRI	+ 2.0	+ 2.4	+ 1.9	+ 2.7	+ 2.2
ERZİNCAN	+ 1.5	+ 2.5	+ 1.9	+ 2.2	+ 1.6
BİTLİS	+ 1.5	+ 0.6	+ 0.8	+ 1.1	+ 1.4
HAKKARİ	+ 0.5	+ 0.9	+ 1.3	+ 1.7	+ 1.4
ARDAHAN	+ 1.2	+ 2.2	+ 1.4	+ 2.3	+ 1.5
ARTVİN	+ 1.0	+ 1.2	+ 1.0	+ 1.0	+ 0.3
<b>ORTALAMA</b>	<b>+ 1.37</b>	<b>+ 1.45</b>	<b>+ 1.30</b>	<b>+ 1.69</b>	<b>+ 1.46</b>

Tablo 3.6. 1970-2010 Yılları erime ve birikme sezonları için meteoroloji istasyonlarındaki yağış değişimleri (Güventürk A. 2013)

İSTASYON	TOPLAM YAĞIŞTAKİ DEĞİŞİM (KASIM-ŞUBAT)		TOPLAM YAĞIŞTAKİ DEĞİŞİM (MART-HAZİRAN)		YILLIK YAĞIŞTAKİ DEĞİŞİM YÜZDE (%)
	(mm)	YÜZDE (%)	(mm)	YÜZDE (%)	
MALATYA	+ 11.1	7.3	- 110.9	- 46.3	- 18.24
BİNGÖL	+ 76.0	15.6	- 58.5	- 14.7	6.9
TUNCELİ	+ 82.6	20.6	- 17.8	- 5.7	13.0
MUŞ	+ 73,8	21.8	- 17.5	- 5.3	10.8
AĞRI	- 60.3	- 28.2	+ 1.7	0.7	- 5.1
ERZİNCAN	+ 30.3	24.4	+ 1.0	0.6	10.9
BİTLİS	- 47.5	- 7.4	- 7.2	- 1.5	- 3.1
HAKKARİ	+ 49.6	13.5	- 84.5	- 26.8	0.05
ARDAHAN	+ 58.9	63.3	+ 99.5	43.4	45.5
ARTVİN	+ 40.3	11.8	+ 9.1	4.1	15.1
<b>ORTALAMA</b>	<b>+ 31.48</b>	<b>14,3</b>	<b>- 18.5</b>	<b>- 5.2</b>	<b>7.5</b>

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

### 4.1. Kar Erimesi ile İlgili Analiz Sonuçları

Meteoroloji istasyonlarının içinde buldukları poligon alanlarına ait açıklamalar ile bu alanlar için SNOW alt programında kullanılmak üzere 2009-2011 yıllarındaki 3 yıllık kar gözlemleri kullanılarak kalibre edilen girdi değerleri, HSPF programında kullanılan İngiliz birim sisteminde, ayrıca metrik sistem karşılıkları da verilerek Tablo 4.1'de sunulmuştur.

Tablo 4.1. Meteoroloji istasyonlarının içinde bulunduğu poligonlar ve parametreleri

Meteoroloji istasyonu Verileri	Poligon No	Arazi Kullanımı	Eş Karakterli Alan (m <sup>2</sup> )	LAT = Enlem	MELEV (ft)	MELEV (m)	SHADE	SNOWCF	COVIND (inç ; mm)
KÖŞK	305	Kuru.Tar.	835601	40	6826,37	<u>2080,68</u>	0,43	1	2 ; <u>50,8</u>
GÜNGÖRMEZ	120	Değ. Alanı	3522320	40	8256,79	<u>2516,67</u>	0,60	1	4 ; <u>101,6</u>
RADAR	404	Değ.Alanı	2924080	40	9474,67	<u>2887,88</u>	0,72	1	4 ; <u>101,6</u>

Meteoroloji istasyonu Verileri	Poligon No	Arazi Kullanımı	Ortalama Eğim (derece)	RDCSN	TSNOW (°F ; °C)	SNOEVP	CCFACT	MWATER (inç/inç)	MGMELT (inç/gün ; cm/gün)
KÖŞK	305	Kuru.Tar.	9,90	0,14	36 ; <u>2,22</u>	0,05	0,5	0,2	0,02 ; <u>0,0508</u>
GÜNGÖRMEZ	120	Değ. Alanı	24,10	0,16	31,6 ; <u>-0,22</u>	0,05	1,7	0,2	0,02 ; <u>0,0508</u>
RADAR	404	Değ. Alanı	12,06	0,16	40 ; <u>4,44</u>	0,05	2,0	0,2	0,02 ; <u>0,0508</u>

Şekil 4.1., Şekil 4.3 ve Şekil 4.5.'de sırasıyla Radar, Güngörmez ve Köşk istasyonlarını karakterize eden arazi parçalarına ait gözlenmiş ve simüle edilmiş sonuçlar verilmiştir. Sonuçlarda kullanılan kısaltmalar ve açıklamaları Tablo 4.2'de sunulmuştur (yağış ve akışa ait parametreler de modelde saatlik ölçekte simüle edilmiş olup çıktıların anlamlandırılabilmesi için günlük ölçekte gösterilmiştir).

Tablo 4.2. Şekil 4.1-6'da kullanılan kısaltmalar

KISALTMA	AÇIKLAMA	TÜRÜ
PRAIN	Kar kütlesi üzerine yağın yağmur yüks. (mm/gün)	Simüle edilmiş
RAINP	Yağmur şeklindeki yağış yüksekliği (mm/gün)	Simüle edilmiş
PREC	Toplam yağış yüksekliği (mm/gün)	Gözlenmiş
WYIELD	Kar kütlesinden dışarı salınan su miktarı (mm/gün), Sağ ekseninde gösterilmiştir.	Simüle edilmiş
PERO	Geçirimli arazi parçasından çıkan toplam akış yüksekliği (mm/gün) , Sağ ekseninde gösterilmiştir.	Simüle edilmiş
SURO	Yüzeysel akış yüksekliği (mm/gün), Sağ ekseninde gösterilmiştir.	Simüle edilmiş
SNWD	Kar kütlesinin yüksekliği (mm)	Gözlenmiş
PDEPTH	Kar kütlesinin yüksekliği (mm)	Simüle edilmiş
SWE	Kar su eşdeğeri (mm)	Gözlenmiş
PACK	Kar su eşdeğeri (mm)	Simüle edilmiş
PACKW	Kar kütlesindeki serbest su içeriği (mm)	Simüle edilmiş
PACKF	Donmuş kütle içeriği (mm)	Simüle edilmiş
PACKI	Buzlanmış kütle içeriği (mm)	Simüle edilmiş

Meteoroloji istasyonlarından alınan ham veriler incelendiği zaman Güngörmez ve Köşk istasyonlarına ait gözlenmiş SWE (kar su eşdeğeri) değerlerinin kar dönemi başında ve sonunda dönem dönem negatife düştüğü veya erime dönemi sonunda pozitifte kaldığı gözlenmiştir. Ölçüm aletinden kaynaklanan bu hatanın giderilmesi için, artışın başladığı veya bittiği noktanın 0'a kalibre edilmesi amacıyla kar dönemi boyunca veri serisi dikey ekseninde sapma miktarınca yukarı veya aşağı kaydırılmıştır. Köşk istasyonunda kar yüksekliğini ölçen ultrasonik sensördeki nemden kaynaklanan ölçüm hataları neticesinde tutarlı kar yüksekliği ölçümleri alınmamasına rağmen, istasyonda bağımsız olarak ölçülen SWE değerleri ile arazi çalışmalarından kar tüpü ile elde edilen SWE verileri karşılaştırılarak araziye uygun bir kar yüksekliği simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Kar yüksekliği ve kar su eşdeğeri benzetimlerinde kar yastıklarının zemin kotundan bir miktar yukarıda (yaklaşık 30 cm) kurulmasından dolayı, özellikle erime periyodunda düşük değerlerde ölçülen ve simüle edilen veriler arasında tam bir uyumun olması beklenilemez.



Meteoroloji istasyonlarında ölçülen ve 1 saatlik zaman periyoduna göre simüle edilen kar su eşdeğerleri ve kar yükseklikleri değerlendirildiği zaman çok iyi bir korelasyonun sağlandığı görülmektedir (Şekil 4.1., Şekil 4.3 ve Şekil 4.5.). Kalibrasyonlarda farklı konumlarda kullanılan değişken kar parametreleri genelde yükseklik farkından kaynaklanmaktadır. Ancak, bazı parametreler havzanın karakteristiği ile de ilgilidir. Örneğin, SHADE parametresi göz önüne alındığında yükseklikle orantılı olarak SHADE değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Bu parametrenin artması sonucu, kar yüzeyinin gelen kısa dalga radyasyonunu yansıtması artacak ve kütleye tesir eden net kısa dalga radyasyon miktarı azalacaktır. Normal iklim şartlarında kurulan bir modelde bu fiziksel davranış ALBEDO değişkeni ile değerlendirilmektedir. İterasyonlarla yürütülen HSPF gibi birçok modelin kar hidrolojisi simülasyonu hesaplarında arazide gözlenmiş albedo değerleri direk modele girdi olarak konulamamaktadır. Bunun yerine, kar yağışına bağlı olarak artıp azalan bir indekse bağlı olarak albedo zaman serileri diğer hidrolojik parametreler ile eşzamanlı olarak üretilerek modellerde kullanılmaktadır. Kar yağışına bağlı olarak HSPF benzetimlerinde üretilen ALBEDO serilerinin minimum ve maksimum aralıkları yaz ayları için 0,45-0,80 iken, kış ayları için 0,60-0,85 değerleri arasında kalmaktadır. Fakat, Kırkgöze havzası gibi yüksek dağlık alanlarda kurulan istasyonlardan alınan ölçümlerde albedo değerlerinin 0,98'e varan değerler alabildiği ve uzunca bir müddet 0,90-0,98 aralığında bu değer dalgalandığı gözlenmiştir. HSPF modelinde güneşten gelen kısa dalga radyasyon Denklem 2.14'de belirtildiği üzere;

$$\text{SHORT}=\text{SOLRAD}*(1,0-\text{ALBEDO})*(1,0-\text{SHADE})$$

bağıntısından hesaplanmaktadır. Bu nedenden ötürü ALBEDO parametresinin modeli kalibre etme kapasitesinin yetersiz olduğu şartlarda, SHADE parametresi arazi şartlarını modelde daha iyi yansıtmak amacıyla yardımcı bir fonksiyon olarak kullanılabilir. Sırasıyla 2080,68 m, 2516,67 m ve 2887,88 m yüksekliklerinde kurulan Köşk, Güngörmez ve Radar istasyonları için SHADE parametresi 0,43, 0,6 ve 0,72 olarak kullanıldığında karın olması gerektiği gibi uzun bir dönem arazi üzerinde kalması sağlanmıştır.

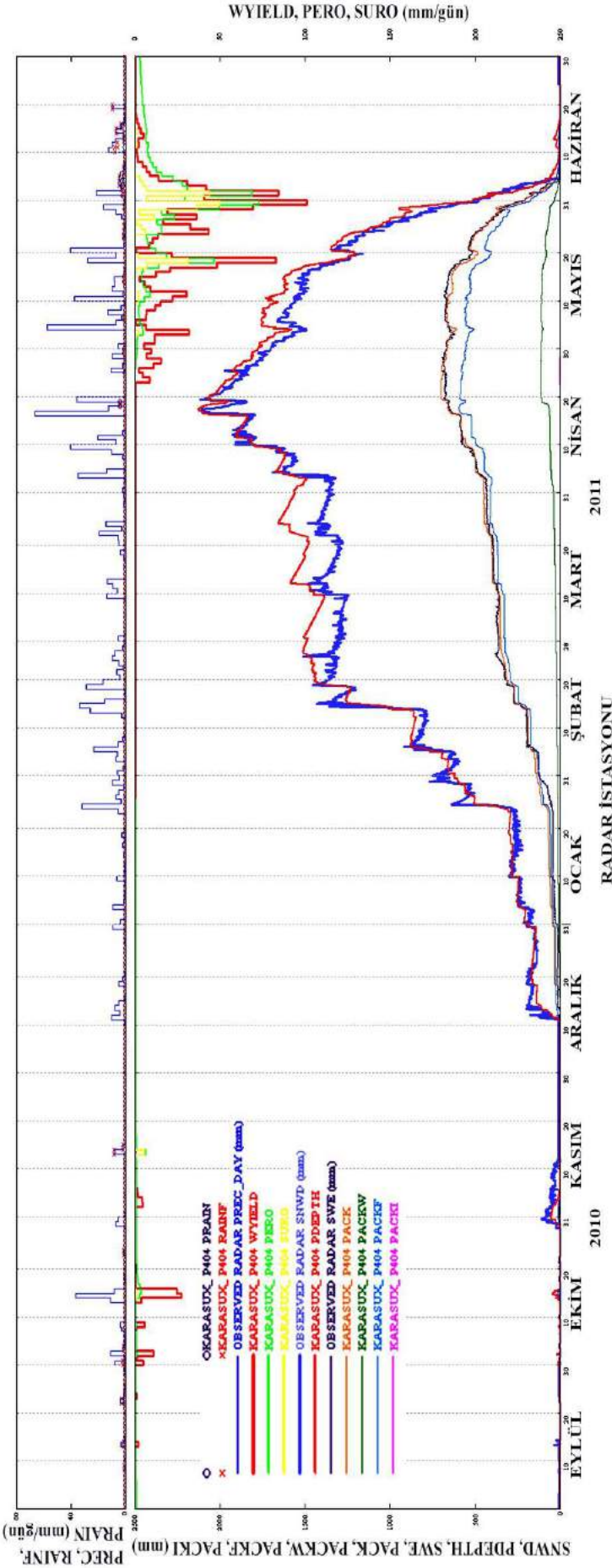
Bir başka bakış açısıyla; Radar istasyonundaki kar yağışı, Güngörmez ve Köşk istasyonuna göre daha fazla ise, yüksek rakımlar için modelde üretilen ALBEDO değerlerinin de yağışa paralel olarak diğerlerinden daha fazla olması gerekmektedir. SOLRAD değerlerini modellerken eksik olarak modellenen ALBEDO değerlerinin kademeli olarak daha yüksek bir aralıkta salınımını sağlamak amacıyla, ALBEDO değerinin sabit bir SHADE katsayısı ile çarpılması ile fiziksel olarak daha anlamlı sonuçların elde edilmesi beklenir. Fakat, modelde üretilen maksimum albedo değerleri tüm istasyonlarda sabit bir değer (örn. 0,85) almaktadır. Gerçekte ise, dağlık alanlarda yüksekliğe çıktıkça kar daha temiz olduğundan daha yüksek albedo değerleri alması ve güneş radyasyonundan daha az etkilenmesi beklenir. Bu durumun, dağlık alanların düşük kotlarındaki erken erime neticesinde açığa çıkan yüzeysel kirliliğin rüzgârlarla kar kaplı alanların üzerine taşınması ile yüzey kirliliğinin alt kotlardan üst kotlara doğru eksponansiyel olarak azalmasının bir sonucu olduğu da düşünülebilir. Bu nedenle kurulan modelde SHADE parametresinin üst kotlara doğru çıktıkça artan değerler alması, fiziksel olarak anlamlıdır. Sonuçta dağlık alanlarda yüksek rakımlarda kısa dalga radyasyonun erimeye daha az etkili olduğu sonucu ortaya çıkar.

SHADE parametresinin artması, kısa dalga boylu radyasyonun erime sürecindeki etkisini azaltırken diğer taraftan Denklem 2.15 ve Denklem 2.16 gereğince sıcaklığa bağlı olarak uzun dalga radyasyonunu arttırmaktadır. Daha yaygın bir şekilde ölçülen kısa dalga radyasyona kıyasla, uzun dalga radyasyonu (LONG) kar kütesinin ve çevresinin yayma özelliklerinin teorik değerlendirmesinden tahmin edilir. Stefan'ın Siyah Cisim Yasası esas alınarak ortaya konan kuramsal temeller ile gerçekleştirilen LONG simülasyonlarında SHADE parametresi 1'e yaklaştıkça arazide uzun dalga radyasyonun etkisi artmaktadır. Bu durumu bulut örtüsü etkisi ile açıklayacak olursak, dağlık alanlarda zirveye doğru çıktıkça arazi parçasından taranacak gökyüzü alanı artacaktır. Aynı şekilde, üst kotlarda bulunan bir arazi parçasının görebileceği alansal kara parçası da artacaktır. Sonuçta, uzun dalga radyasyonunun erimeye olan etkisi yüksek rakımlarda düşük rakımlara kıyasla daha fazla olacaktır. Bu nedenle üst kotlara doğru çıktıkça SHADE parametresinin artan değerler alması kurulan modelde fiziksel olarak anlamlıdır.

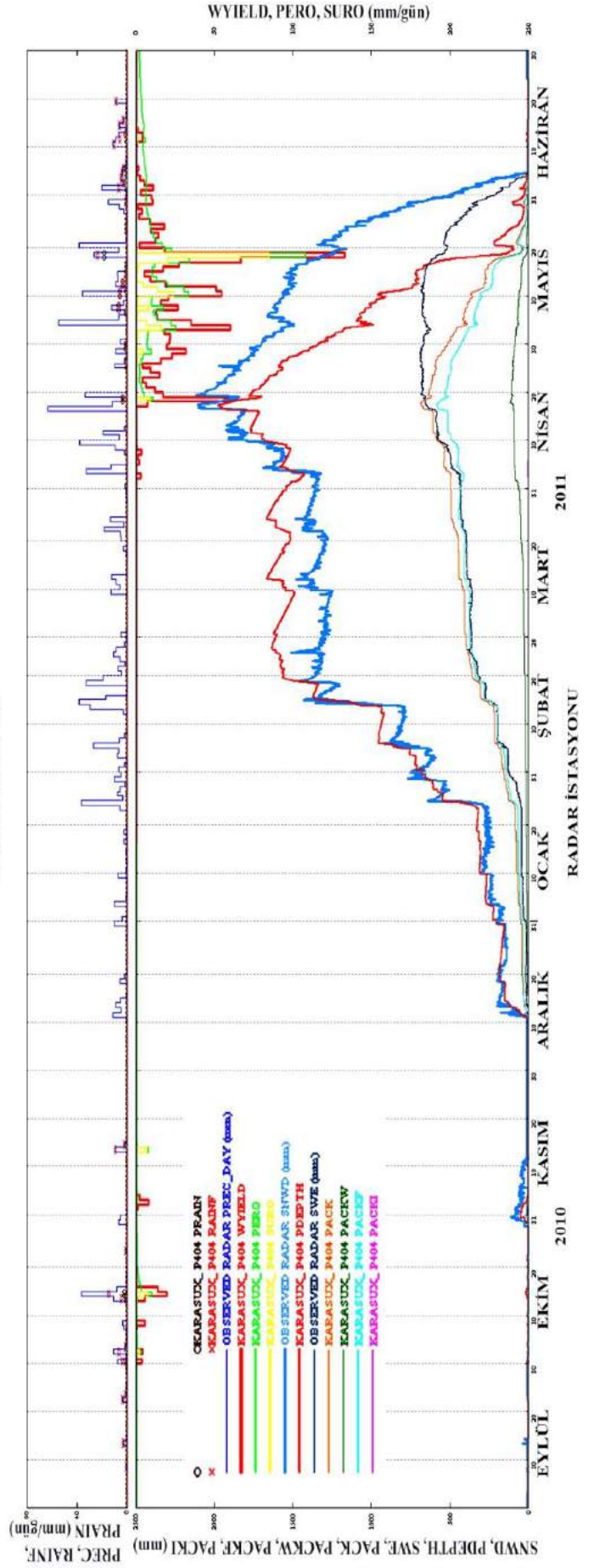
CCFACT parametresi Köşk, Güngörmez ve Radar istasyonları için sırasıyla 0,5, 1,7 ve 2,0 olarak kalibre edilmiştir. Bu parametrenin yüksek rakımlara doğru çıktıkça artan değerler alması konveksiyon (iletim) ve kondansasyon (yoğunlaşma) yoluyla kar kütesinde meydana gelen ısı değişiminin, üst kotlarda düşük kotlara göre daha etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Sonuç olarak CCFACT parametresi hava sıcaklığı ve rüzgâr hızının bir fonksiyonu olduğundan dolayı, hava sıcaklığının erimeye olan katkısı yüksek rakımlarda düşük rakımlara göre daha etkilidir (Şengül, 2011).

Küresel iklim değişikliği etkilerinin bölgedeki yağış ve sıcaklık değişkenlerine olan tesirleri yapılan çalışmalar incelendiği zaman 1970-2010 yılları arasındaki 40 yıllık bir zaman zarfında belli oranlarda ortalama bir trend göstermiştir. HSPF modeli kullanılarak bölgenin kar erimesi ve birikmesine etki eden fiziksel davranış modellenmiş olup bu trendlerin modeli itere eden meteorolojik zaman serilerine uygulanması ile bundan sonraki 40 yıllık süreç sonunda bölgedeki kar kütesinin davranışı simüle edilmiştir (Şekil 4.2, Şekil 4.4, Şekil 4.6). İklim senaryosu modellenirken halihazırdaki yağış ve sıcaklık ile ilgili meteorolojik zaman serilerine (Hava Sıcaklığı, Yağış ve Çiğ noktası) yapılan çalışmalar sonucunda erime ve birikme dönemlerinde farklı trendler uygulanmış olup modelde girdi olarak kullanılan diğer meteorolojik şartların değişmediği kabulü yapılmıştır. Hava sıcaklığı Çiğ noktası hesaplamaları haricinde evapotranspirasyon zaman serileri üzerinde de etkili olmakla beraber kar kütesinden meydana gelen süblimleşme modelde çiğ noktası değeri (DEWP) üzerinden hesaplanmaktadır. Evapotranspirasyon zaman serileri ise daha çok kar örtüsünün yüzeyden kalkması sonucu etkin olmaktadır. Bu nedenle kar kütesi ile ilgili hesaplamalarda etkin değildir. Tablo 3.5 ve 3.6'dan elde edilen bulgular neticesinde 40 yıllık bir zaman periyodu sonrasında Doğu Anadolu'da ki dağlık alanların ortalama bir davranışını simüle edebilmek amacıyla ortalama değerler üzerinden trend uygulanması uygun görülmüştür. Buna göre hali hazırdaki sıcaklık zaman serilerinin kar birikme dönemlerine denk gelen Kasım-Şubat aylarındaki değerleri 1.69 Santigrad derece; kar erime dönemlerine denk gelen Mart-Haziran aylarındaki değerleri 1.46 Santigrad derece ve son olarak da geriye kalan aylardaki ortalama sıcaklık değerleri 1.30 Santigrad derece arttırılmıştır. Çalışmada özellikle kar kütesi üzerindeki davranış modellendiği için yağış serilerinde ise Kasım-Şubat aylarında yağış serileri %14.3 arttırılmış; Mart-Haziran aylarındaki değerlerde ise % 5.2 derecesinde azaltım yoluna gidilip kar örtüsünün gözlenmediği geri kalan aylardaki yağış serilerinde herhangi bir trend uygulanmaya ihtiyaç duyulmamıştır.

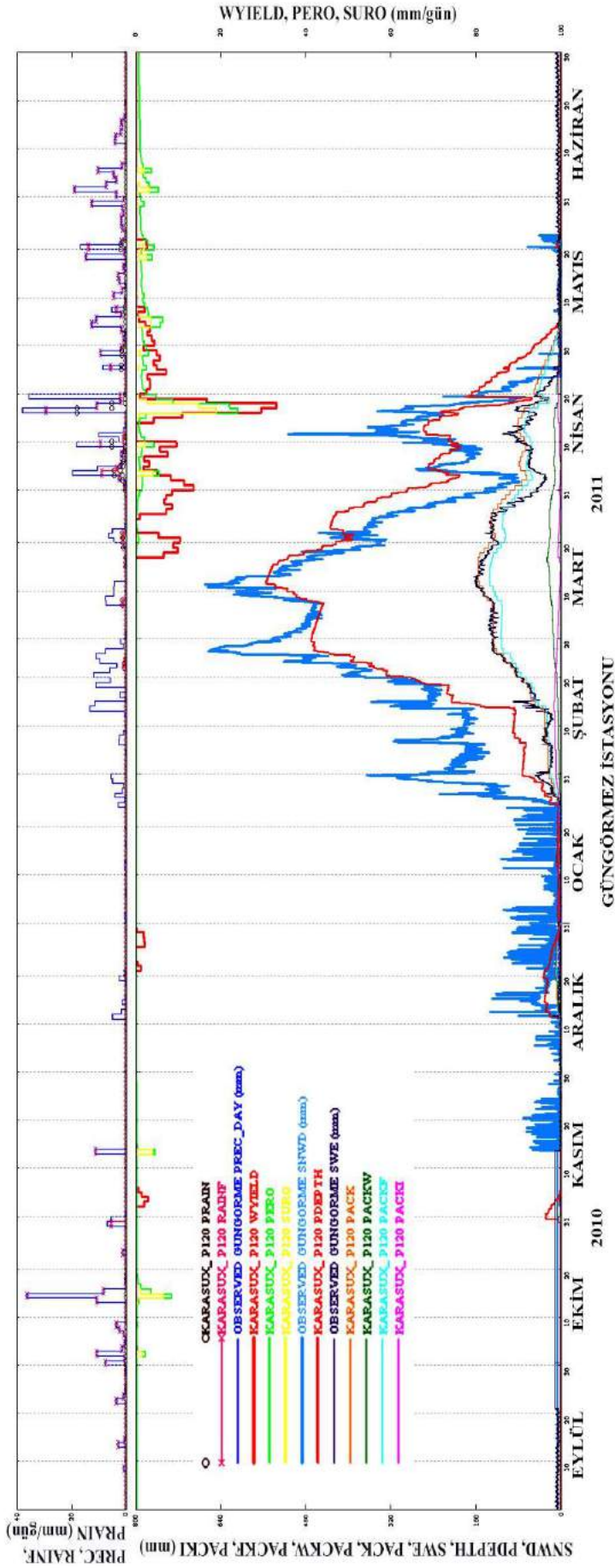




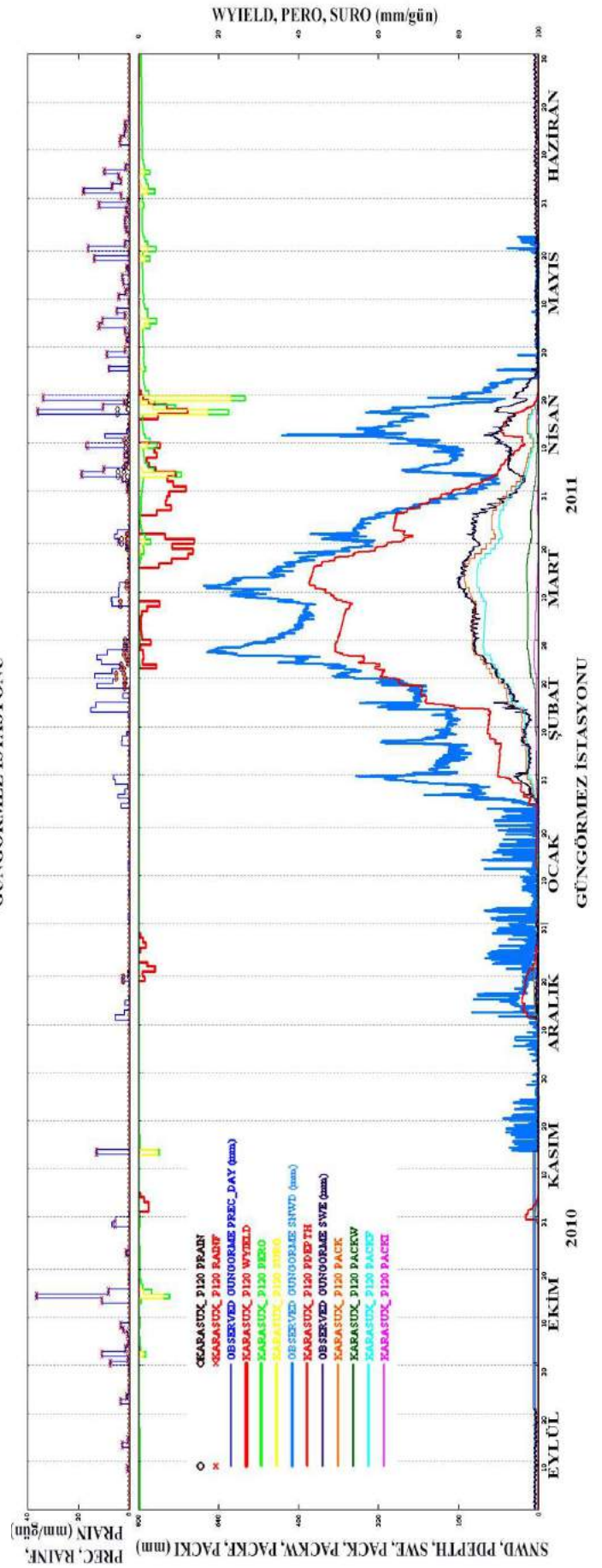
Şekil 4.1. Radar istasyonu için kar simülasyonu sonuçları



Şekil 4.2. Radar istasyonu için küresel ısınma sonucu beklenen kar simülasyonu sonuçları

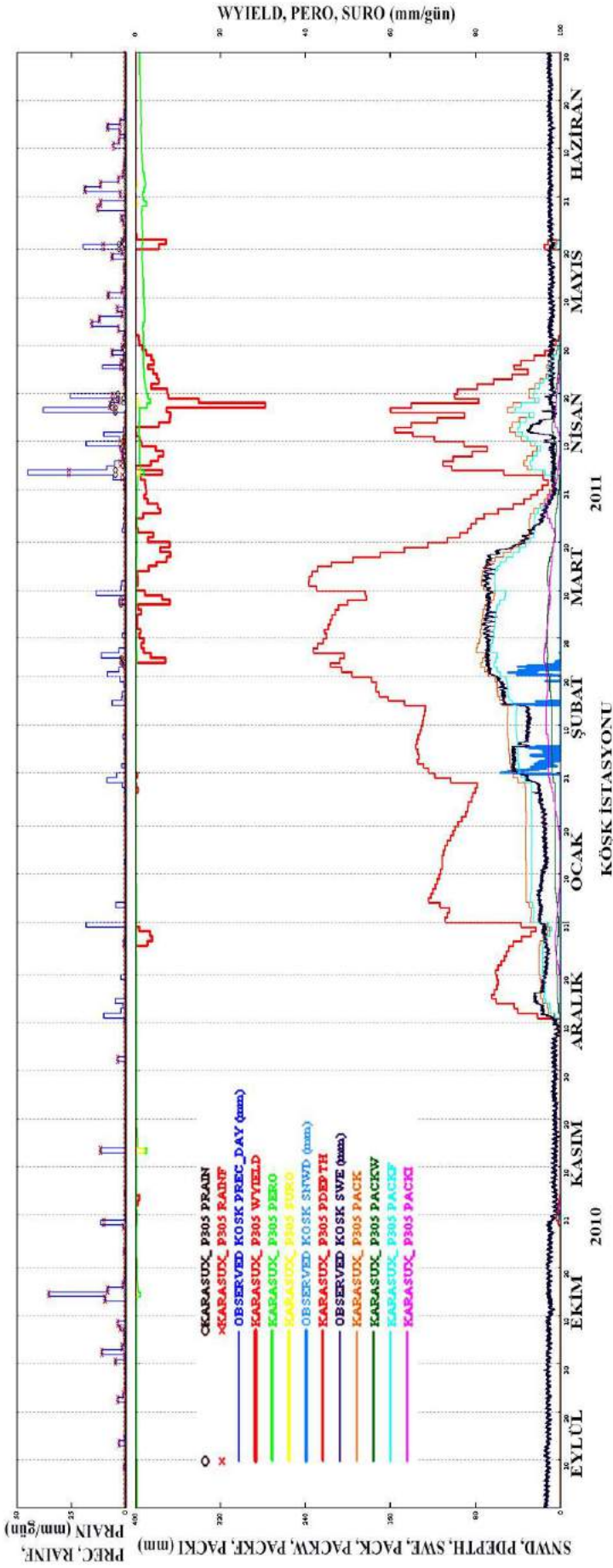


Şekil 4.3. Güngörmez istasyonu için kar simülasyonu sonuçları

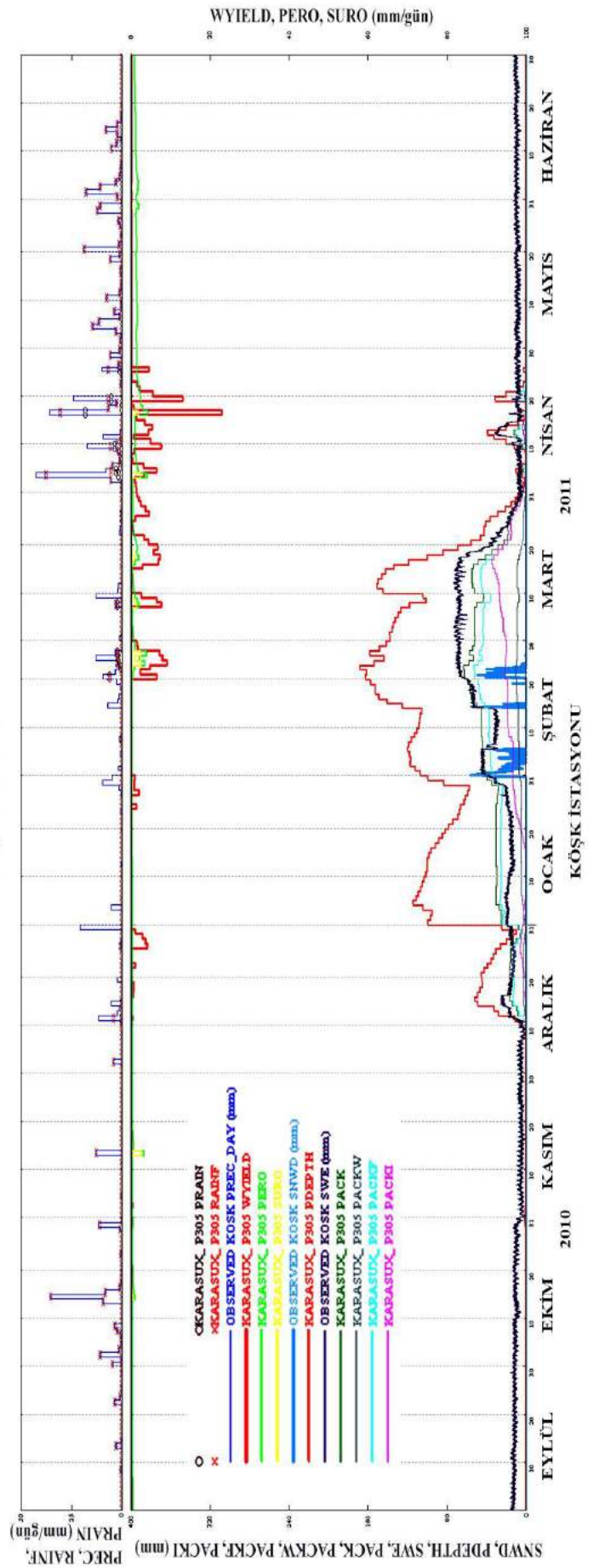


Şekil 4.4. Güngörmez istasyonu için küresel ısınma sonucu beklenen kar simülasyonu sonuçları





Şekil 4.5. Köşk istasyonu için kar simülasyonu sonuçları



Şekil 4.6. Köşk istasyonu için küresel ısınma sonucu beklenen kar simülasyonu sonuçları

## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, temelde bir coğrafi bilgi sistemi olup çok işlevli havza analizi araçlarını barındıran BASINS yazılımı farklı CBS algoritmalarıyla desteklenerek veri toplama, veri hazırlama ve havza karakterizasyonu ön işlemleri gerçekleştirilmiştir. BASINS ile elde edilen çıktılar, hidrolojik simülasyon programı olan HSPF uygulaması için girdi olarak kullanılmış ve havza modeli oluşturulmuştur. Yıllık toplam akımların önemli bir bölümünün (%70-80) kar erimelerinden oluştuğu, Kırkgöze (Çipak) havzası kar kütlesi simülasyonları gerçekleştirilmiştir.

BASINS içinde bulunan MapWindow arayüzü ile birlikte, diğer bir CBS yazılımı olan ARCGIS programının alt modüllerinin sağladığı ileri CBS olanakları da kullanılarak topolojik ve iklimsel değişkenler gözetilerek meteorolojik ve hidrolojik açıdan eş karakterizasyona sahip arazi sınırları belirlenmiştir. Meteoroloji istasyonlarının bulunduğu her bir poligonal alan kendi ortam değişkenlerinin stabil olduğu bir sınıra indirgenmiştir. Böylelikle BASINS çatısı altında kullanılacak olan HSPF uygulaması için hidrolojik model tabanı oluşturulmuştur.

HSPF model programı kullanılarak her biri farklı eş karakteristikli alan içinde bulunan istasyonlardan ölçülen ve işlenen veriler gözlenmiş kar su eşdeğeri ve kar yüksekliği değerlerini simüle edecek şekilde kalibre edilerek modellenmiştir. Öncelikli olarak her bir istasyondaki ham meteorolojik zaman serileri (hava sıcaklığı, hava nemi, hava basıncı, yağış, rüzgâr hızı ve güneş radyasyonu) 1'er saatlik ölçekte işlenerek modelde kullanılacak olan gerekli zaman serilerine (hava sıcaklığı, çığ noktası sıcaklığı, yağış ve bulutluluk, rüzgâr hızı, potansiyel evapotranspirasyon ve güneş radyasyonu) dönüştürülmüştür. Müteakiben meteoroloji istasyonlarının kurulu olduğu arazi parçalarına ait HSPF modelindeki kar birikmesi ve erimesi süreci ile ilgili parametreler gözlenmiş kar su eşdeğeri ve kar yüksekliklerini verecek şekilde Tablo 4.1'de gösterildiği gibi tayin edilmiştir. İleride yapılacak olan çalışmalarda havza içinde veya bölgede farklı noktalardan elde edilen bu noktasal parametrelerin zamansal ve mekânsal dağılımı yapılarak herhangi başka bir nokta veya alan için kar derinliği, kar su eşdeğeri, kar kütlesinin buz ve serbest su içeriği, kar kütlesi üzerine düşen yağmur yüksekliği ve kar kütlesinden sızan su miktarı belirlenebilir.

Alansal karakterizasyonun değişiklik göstermesine kavramsal bir örnek olarak şu sonuçlar verilebilir.

1) Dağlık alanlar için SHADE parametresinin çıplak arazide üst kotlara doğru çıkıldıkça artan değerler alması, yüksek rakımlara doğru çıkıldıkça kısa dalga radyasyonun kar erimesi üzerine olan etkisinin azaldığını ve uzun dalga radyasyonunun kar erimesi üzerine etkisinin arttığını göstermektedir.

2) Hava sıcaklığı ve rüzgâr hızının bir fonksiyonu olan CCFAC parametresinin üst kotlara doğru çıkıldıkça artan değerler alması, yüksek rakımlarda hava sıcaklığının erimeye olan katkısının düşük rakımlara göre daha etkili olduğunu belirtmektedir.

Değişimin ne derecede gerçekleştiği ise model parametrelerinin aldığı değerlerin (Tablo 4.1) Bölüm 2.2'de verilen fiziksel davranış denklemlerinde incelenmesi veya GENSCN alt programından çıktı olarak sunulan nihai grafiklerin (Şekil 4.1-4.6) incelenmesi ile anlaşılır olmaktadır.

Şekil 4.1, Şekil 4.3 ve Şekil 4.5'de sırasıyla 2891 metre rakımında bulunan Radar istasyonu, 2454 metre rakımında bulunan Güngörmez istasyonu ve 2019 metre yüksekliğinde bulunan Köşk istasyonu içsel kar kütle davranışları ve bu kütlelerden çıkan suların zamansal ve akış yüksekliği olarak değerleri grafik olarak sunulmuştur. Bunlara ek olarak özellikle erime dönemi yağışlarının kar olarak mı yoksa yağmur formunda mı gerçekleştiği, yağmurun kar örtüsü üzerine yağdığı zaman kar kütlesinin ne şekilde davranış gösterdiğini de grafiklerden okumak mümkündür. Kırkgöze havzası üzerinde bulunan kar örtüsünün erime periyodu artan pikleri incelendiğinde karla karışık yağın yağmurun kar kütlesi içinden direk süzülmeyle kar yüksekliğini arttırdığı gözlenmiştir. Bu benzetim ancak MWATER parametresinin literatürce ekstrem bir değer olan 0.2 değerinde sağlanmış olup bölgedeki kar kütlesinin petek yapısının gün içindeki ısı değişiminin fazla olması neticesinde oluşan donma çözünme dinamikleri sonucunda kütle üstünde bulunan buzul tabakanın zamanla yeni yağın kar sonucunda tekrarlanarak katmanlaşmasına ve kütle içinden suyun serbest akışına izin vermemesi ile açıklanabilir. Ayrıca erime döneminde özellikle kar yüksekliğinin fazla olduğu yüksek rakımlarda yapılan arazi gezilerinde erimeye başlayarak olgunlaşan kar kütlesinin neredeyse yarım metreye yakın kısmının su kıvamında olduğu gözlenmiş, kar hediği takılmasına rağmen bazı yerlerde yürümenin neredeyse imkânsız hale geldiği tecrübe edilmiştir.

Erime döneminde istasyonların genelinde kar kütlesinin ani olarak düşüm gösterdiği kısımlarda ise kar kütlesinden salınan serbest suyun (WYIELD) pik değerler almış olduğu ve ani erimenin büyük ölçüde kar üzerine yağın yağmurun (PRAIN) bir sonucu olduğunu söyleyebiliriz. Şekil 4.2, Şekil 4.4 ve Şekil 4.6'da verilen iklim değişikliği trendleri altında 2050 yılı için modellenen öngörüler incelendiğinde ise erime dönemlerinde kar kütlesinden salınan su miktarında (WYIELD) ve yüzeysel akış yüksekliklerinde (SURO) 2011 özgün değerleri ile karşılaştırıldığında yüksek rakıma ve kuzey bakıya sahip Radar istasyonunda orantısız olarak yüksek miktarda gözlemlenen bir artış göze çarpmaktadır. WYIELD değerinin pik değeri 100 mm'den 140 mm'ye çıkarken, SURO ifadesi 50 mm değerinden 80 mm değerine kadar artış göstermiştir. Büyük miktarlarda su içeren, kar yüksekliğinin fazla olduğu ve erimenin geç bir zamanda gerçekleştiği kuzey bakılı Radar istasyonu konumundaki araziler için küresel ısınma neticesinde öne çekilen erime periyodunda arazi üzerinde bulunan kar örtüsü üzerine, yağmur şeklinde gerçekleşen yağışın etkisi ile kütlede karın serbest su taşıma yüzdesi aşıldığı anda beklenen değerlerden oldukça fazla su salınımı ve yüzeysel akış gerçekleşmektedir. Nitekim erime dönemi yağış ve sıcaklık trendlerine bakıldığı zaman sıcaklığın 1.46 Santigrad derece artış gösterdiği; yağışın ise Mart-Haziran boyunca %5.2 azaldığı göz önünde tutulduğunda erime dönemi boyunca kar kaynaklı toplam akış hacminin azaldığı (SWE değerinin altında kalan alan) ancak akışın pik taşkın değerlerinin (WYIELD, SURO) oldukça yüksek değerler aldığı gözlenmektedir.

Güney bakıya sahip Güngörmez İstasyonunda WYIELD değeri 35 mm'den 10 mm değerine düşerken yüzeysel akımını temsil eden SURO değeri 20 mm den 22 mm'ye çıkarak yaklaşık aynı kalmıştır. Güngörmez istasyonundaki WYIELD değerinde gözlemlenen düşümün erimenin artan hava sıcaklığı ile öne çekilmesi sonucu kar örtüsü üzerine yağın yağmur etkisinin azalması ile açıklayabiliriz.

Düşük rakımda bulunan ve kuzeybatı bakısına sahip Köşk istasyonu için ise kar erimesi kaynaklı pik debinin aynı şekilde 32 mm değerinden 25 mm değerine düştüğü ancak yüzey akımının pik değerlerinde herhangi bir değişim olmadığı göze çarpmaktadır.

Yüksek rakımlarda bulunan Radar ve Güngörmez istasyonunda kar birikme sürecinde Mart ayına kadar önemli değişiklik gözlenmez iken kar erime sürecinin Radar istasyonunda yaklaşık 15 gün, daha fazla solar radyasyona maruz kalan güney bakıya sahip Güngörmez istasyonunda ise 25 gün öne geldiği gözlenmiştir. Köşk istasyonu ise diğer istasyonlardan daha düşük bir rakımda bulunduğundan yüksek ortam sıcaklığı ve düşük kar birikmesine bağlı olarak Şubat ayında başlayan erime süreci 5 gün kadar erkene çekilmiş olup erime periyodunda ise 10 günlük bir geri çekilme söz konusudur.

Her ne kadar söz konusu istasyonlar Kırkgöze Havzası'nın hipsometrik ortalama yüksekliklerinde bulunsalar da havza geneli için akım gözlem istasyonlarında gelecekte gözlemlenebilecek reel yüzeysel akımların debi değerleri için gerek mevcut model parametrelerin havza alanı üzerinde bütün araziye dağıtıldığı ve su bütçesi hesaplarının kapsamlı olarak gerçekleştirildiği hidrolojik modellere gerekse IPCC raporlarından farklı seneryolar için elde edilebilecek global iklim değişikliği eğilimlerinin hidrolojik modeldeki tüm meteorolojik değişkenleri üzerindeki indirgenmiş değerleri kullanılarak elde edilecek tahminlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Yine de günlük Kırkgöze Havzası yüzeysel akımlarının büyük ölçekte üst kotlarda bulunan yüksek kar kütlelerinin erimesinden kaynaklandığı düşünüldüğünde bu çalışmadan elde edilen veriler ilerleyen dönemde bölgesel ölçekte taşkın debilerdeki önemli bir artışı işaret etmektedir. Bu durum taşkın koruma yapılarının, yapıların ekonomik ömürleri boyunca etkili bir şekilde hizmet verebilmesi için küresel ısınma dinamiklerinin göz önünde tutularak hesaplanması ve gerekiyor ise mevcut yapıların da tekrar boyutlandırılması gerektiği sonucunu doğurmaktadır.

Güngörmez istasyonu verilerinin analizinde ise erken dönem bahar yağışlarının yüksek kotlarda beklendiği üzere artık kar olarak değil, 2454 metre rakımlarından başlayarak aşağıya doğru yağmur şeklinde yağacağı sonucu çıkmakta olup bu durum yine yağışın zamanda ertelenmeden direk akışa geçeceğini göstermektedir. Köşk istasyonu verileri incelendiğinde ise analizler sonucu artık 2019 metre rakımlarında 2050 yılı kar kotunun gittikçe yükseldiği yani karın artık daha yüksek kotlarda birikmeye başlayacağı ve düşük rakımlarda kar kütlelerine eskiye nazaran oldukça az miktarlarda kar gözleneceği sonucu çıkmaktadır ki bu durum özellikle kış sporlarının yapıldığı Doğu Anadolu'da mevcut bulunan farklı disiplinlerdeki kar sporları ile ilgili tesislerin geleceğe yönelik projeksiyonlarının yapılması hususunda önem arz etmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışmada HSPF modeli ile çalışma havzası için enerji bütçesi metodolojisi kullanılarak yüksek korelasyonlu kar kütleleri benzetimlerinin simüle edilebileceği gösterilmiş olup, kar örtüsü üzerine yağın yağmurun ve erken erime sonucu çıplak arazi üzerine yağarak direk akışa geçen yağmurun gözlenen debiler üzerinde önemli etkilerinin olduğu sonucuna varılmıştır. Elde edilen model parametreleri başka günlük havzalarda gerçekleştirilecek olan hidrolojik modeller ve iklim modelleri için de kaynak teşkil etmektedir.

## **6. TEŞEKKÜR**

Bu çalışmada kullanılan meteoroloji ve kar gözlem istasyonlarının kurulumunda önemli katkıları bulunan başta Prof. Dr. Reşat ACAR ve Dr. Öğr. Üyesi Serkan ŞENOCAK olmak üzere istasyonların halihazırda işletilmesi ve bakımlarında katkıları bulunan Arş.Gör. Okan Mert KATIPOĞLU ve Muhammet Nuri İSPİRLİ'ye; ayrıca ilgili çalışma alanının yağış ve sıcaklık trendlerini belirleyerek literatüre kazandıran Prof. Dr. İsmail Yücel, Abdulkadir Güventürk ve çalışma arkadaşlarına da teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından kabul edilen PRJ2016/5-2613 nolu temel araştırma projesi kapsamında desteklenmiştir.



## Kaynakça

- Acar, R., Şenocak, S., & Şengül, S. (2009). *Snow hydrology studies in the mountainous eastern part of Turkey*. Paper presented at the 2009 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management.
- Acar, R., Şenocak, S., Şengül, S., Coşkun, T., & Balık Şanlı, F. (2009). *Erzurum Kırkgöze Havzasında Kar Erimesine Etki Eden Meteorolojik Ölçümlerin Üç İstasyonda Karşılaştırılması*. Paper presented at the III. Ulusal Kar Kongresi.
- Al-Abed, N. A., & Whiteley, H. R. (2002). Calibration of the Hydrological Simulation Program Fortran (HSPF) model using automatic calibration and geographical information systems. *Hydrological processes*, 16(16), 3169-3188.
- Anderson, E. A. (1968). Development and testing of snow pack energy balance equations. *Water Resources Research*, 4(1), 19-37.
- Anderson, E. A., & Crawford, N. H. (1964). The synthesis of continuous snowmelt runoff hydrographs on a digital computer, Department of Civil Engineering: Stanford University, Stanford, California, Technical Report.
- Anonymous. (1956). Summary report of the snow investigations: North Pacific Division. *US Army Corps Eng., Portland, Oreg.* 437pp.
- Anonymous. (1998). *Engineering and Design: Runoff from Snowmelt (CECW-EH Engineer Manual 1110-2-1406)*. Retrieved from Washington, D.C.:
- Anonymous. (2007). *Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources BASINS 4.0, User's Manual*. EPA-823-C-07-001, Washington, DC.
- Arnell, N. W. (1999). Climate change and global water resources. *Global environmental change*, 9, S31-S49.
- Bergman, M., Green, W., & Donnangelo, L. (2002). Calibration of storm loads in the South Prong watershed, Florida, using basins/HSPF 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 38(5), 1423-1436.
- Bicknell, B., Imhoff, J., Kittle Jr, J., Jobes, T., & Donigian Jr, A. (2001). Hydrological Simulation Program-Fortran (HSPF). User's Manual for Release 12. US EPA National Exposure Research Laboratory, Athens, GA, in cooperation with US Geological Survey. *Water Resources Division, Reston, VA*.
- Bicknell, B. R., Imhoff, J. C., Kittle Jr, J. L., Donigian Jr, A. S., & Johanson, R. C. (1997). Hydrological simulation program—FORTRAN user's manual for version 11. *Environmental Protection Agency Report No. EPA/600/R-97/080. US Environmental Protection Agency, Athens, Ga*.
- Carrubba, L. (2000). HYDROLOGIC MODELING AT THE WATERSHED SCALE USING NPSM 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 36(6), 1237-1246.
- Choi, W., & Deal, B. M. (2008). Assessing hydrological impact of potential land use change through hydrological and land use change modeling for the Kishwaukee River basin (USA). *Journal of Environmental Management*, 88(4), 1119-1130.
- Crawford, N. H. (1999). Snowmelt Calibration. *Hydrologic Journal*. Retrieved from [www.hydrocomp.com](http://www.hydrocomp.com)
- Donigian, A. S., & Davis, H. H. (1978). User's Manual for Agricultural Runoff Management (ARM) Model. Available from the National Technical Information Service, Springfield VA 22161 as PB-286 366, Price codes: A 08 in paper copy, A 01 in microfiche. Report.
- DSİ. (2009). *Turkey Water Report*. Retrieved from Republic of TURKEY:
- El-Kaddah, D. N., & Carey, A. E. (2004). Water quality modeling of the Cahaba River, Alabama. *Environmental geology*, 45(3), 323-338.
- Endreny, T. A., Somerlot, C., & Hassett, J. M. (2003). Hydrograph sensitivity to estimates of map impervious cover: a WinHSPF BASINS case study. *Hydrological processes*, 17(5), 1019-1034.
- Griessinger, N., Schirmer, M., Helbig, N., Winstral, A., Michel, A., & Jonas, T. (2019). Implications of observation-enhanced energy-balance snowmelt simulations for runoff modeling of Alpine catchments. *Advances in Water Resources*, 133, 103410. doi:<https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2019.103410>
- Güventürk, A. (2013). *Impacts Of Climate Change on Water Resources on Eastern Mountainous Region Of Turkey*. (Msc), Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Hayashi, S., Murakami, S., Watanabe, M., & Bao-Hua, X. (2004). HSPF simulation of runoff and sediment loads in the Upper Changjiang River Basin, China. *Journal of Environmental Engineering*, 130(7), 801-815.
- Im, S., Brannan, K. M., Mostaghimi, S., & Cho, J. (2004). Simulating fecal coliform bacteria loading from an urbanizing watershed. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 39(3), 663-679.
- IPCC. (2007). *Impacts, Adaptation, and Vulnerability (Eds. ML Parry, OF Canziani, JP Palutikof, PJ van der Linden, CE Hanson)* (Vol. 4): Cambridge University Press, UK.
- Rango, A., & Martinec, J. (1995). REVISITING THE DEGREE-DAY METHOD FOR SNOWMELT COMPUTATIONS 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 31(4), 657-669.
- Seaber, P., Kapinos, F., & Knapp, G. (1987). Hydrologic Unit Maps. United States Geological Survey Water-Supply Paper 2294. *US Geological Survey: Anchorage, AK, USA*.
- Sen, O., Unal, A., Bozkurt, D., & Kindap, T. (2011). Temporal changes in the Euphrates and Tigris discharges and teleconnections. *Environmental Research Letters*, 6(2), 024012.
- Şengül, S. (2011). *Dağlık Havzalarda Hidrolojik Çevrime Etki Eden Parametrelerin Coğrafi Bilgi Sistemleri ve HSPF Model Programına İncelenmesi ve Kırkgöze Havzası Örneği*. (PhD), Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.
- Şenocak, S. (2011). *Kar Erimesi Akış Modelinin (SRM), Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Teknikleri de Kullanılarak Dağlık Bölgelerde Uygulanması ve Erzurum Kırkgöze Havzası Örneği*. (PhD), Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.
- Shirinian-Orlando, A. A., & Uchrin, C. G. (2007). Modeling the hydrology and water quality using BASINS/HSPF for the upper Maurice River watershed, New Jersey. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 42(3), 289-303.
- Singh, P., & Singh, V. P. (2001). *Snow and Glacier Hydrology* (Vol. 3). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

- Şorman, A. (2004). Importance of Hydro-Meteorological Data Bank for Use in Coupled Models and Disaster Management Using New Techniques (RS/GIS) in Turkey: EFCA.
- Tzoraki, O., & Nikolaidis, N. P. (2007). A generalized framework for modeling the hydrologic and biogeochemical response of a Mediterranean temporary river basin. *Journal of Hydrology*, 346(3-4), 112-121.
- Yilmaz, A. G., & Imteaz, M. A. (2011). Impact of climate change on runoff in the upper part of the Euphrates basin. *Hydrological Sciences Journal-Journal Des Sciences Hydrologiques*, 56(7), 1265-1279. doi:10.1080/02626667.2011.609173
- Yucel, I., Guventurk, A., & Sen, O. L. (2015). Climate change impacts on snowmelt runoff for mountainous transboundary basins in eastern Turkey. *International Journal of Climatology*, 35(2), 215-228. doi:10.1002/joc.3974



# Ateş Böceği Algoritması Destekli Aşırı Öğrenme Makinesi ile Göğüs Kanseri Veri Kümelerinin Sınıflandırılması

Deniz Üstün<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5229-4018)

(İlk Geliş Tarihi 24 Eylül 2019 ve Kabul Tarihi 5 Kasım 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.623816)

**ATIF/REFERENCE:** Üstün, D. (2019). Ateş Böceği Algoritması Destekli Aşırı Öğrenme Makinesi ile Göğüs Kanseri Veri Kümelerinin Sınıflandırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 637-644.

## Öz

Göğüs kanseri hastalığı, kadınların ölümüne neden olan ikinci kanser türüdür. Kanser hastalığının erken teşhisi ve kanser hücrelerine uygulanan uygun ve doğru tedavi hastalığın ölümcül riskini azaltabilir. Tıp doktorları, kanser hastalığının teşhisinde zaman, zaman hata yapabilmektedirler. Yapay zeka tekniklerinin (YZT) performansı, bilgisayar donanım teknolojilerindeki hızlı gelişmeler sayesinde artmıştır. Buna bağlı olarak, kanser hastalığının tanı doğruluğunun artırılması ile ilgili olarak YZT'ler kullanılabilir. Standart Eğitime Dayalı Geri Yayılım Yapay Sinir Ağları (GY–YZT), göğüs kanseri hastalığının tanısında yaygın olarak kullanılmaktadır. GY–YZT, kanser hastalığının teşhisinde iyi bir performans sergilese de, yerel minimum ve eğitim sürecinde uzun süre takılma gibi bazı sınırlamaları vardır. Bu çalışmada, Göğüs Kanseri Wisconsin veri kümesinde göğüs kanseri hastalığının teşhisi için, sezgisel ateş böceği algoritması tarafından desteklenen aşırı öğrenme makinesi (AB–AÖM) önerilmiştir. Önerilen AB–AÖM'nin hastalık tanı üzerindeki performansı standart AÖM ve GY–ANN yöntemleriyle karşılaştırıldı. Sonuçlar, AB–AÖM'nin sınıflandırma performansı ile ilgili anlamlı bir gelişme sağladığını ve tıbbi problemler için güçlü bir teknik olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Aşırı öğrenme makineleri, ateş böceği algoritması, göğüs kanseri, tıbbi karar destek sistemleri.

## Identification of Breast Cancer Using the Extreme Learning Machine Assisted by Firefly Algorithm

### Abstract

The Breast cancer is the second cancer type which causes death of women. The premature detection of cancer and the suitable treatment applied to cancer cells can reduce the deadly risk. The medical doctors can make faults in diagnosis of the cancer disease. The performance of artificial intelligence methods (AIMs) containing increased thanks to rapid improvements in the technologies of the computer hardware. AIMs can be used regarding the enhancement of diagnostic accuracy. Standard Gradient–Based back propagation artificial neural networks (BP–ANN) has been commonly utilized in the diagnosis of the breast cancer disease. Even though BP–ANN are good performance in the diagnosis of cancer disease, it has some limitations such as possible to be trapped in local minima and long time in the training process. In this study, the extreme learning machine assisted by heuristic firefly algorithm (FF–ELM) is proposed for diagnoses of breast cancer disease on the Breast Cancer Wisconsin Dataset. The diagnostic performance of proposed FF–ELM was compared with the standard ELM and BP–ANN methods. The results show that FF–ELM provides a meaningful enhancement regarding the classification performance and it can be used as a powerful technique for the medical problems.

**Keywords:** Extreme learning machines, firefly algorithm, breast cancer, medical decision support systems.

\* Sorumlu Yazar: Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0002-5229-4018, [denizustun@kmu.edu.tr](mailto:denizustun@kmu.edu.tr)

## **1. Introduction**

The uncontrolled cell division in an organ causes the tumors that can be cancerous. There are two sorts of tumors as the malignant and benign. The malignant that is cancerous tumor is growing, spreading out and menacing of life. On the other hand, benign or non-cancerous tumor is not spreading and not threatening of life [1]. If the uncontrolled growing cells are in the tissue of the breast, it is defined as the malignant breast cancer. In general, breast cancer disease the second cancer type which causes death of women [2]. Early diagnosis of the breast cancer disease and then the appropriate treats applied to cancerous cells can decrease the deadly risk for the humans with cancer disease. Therefore, the detection of malignant and benign for the cell with tumor depending on the classification features is very important [3]. The truth diagnosis in the early detection of cells with tumor has been proven to decrease the death rate caused by the disease of the breast cancer [4]. Sometimes the medical doctors depending on capability of expertise in the detection of tumor sort can mistake in the diagnosis of the cancer disease. While the diagnosis with an accuracy rate of 79.9% made by an expert medical doctor, the artificial intelligence methods containing the machine learning and data mining is achieved the accuracy rate of 91.1% [5]. Identification and classification technologies which are a large part of machine learning based on artificial intelligence have gained an increasing interest in biomedical science area through its skill extracting complicated relationships between input and output parameters in big datasets stored related to the biomedical science. Recent researches focus on subjects such as the treatment processes of human diseases, understanding the structure of biological systems, improving new drug discovery targets and giving insights for diagnostic methods.

Artificial neural networks (ANNs) widely used in the regression and classification problems one of best the artificial intelligence methods. The structure of the ANNs is developed by getting inspired the biological neural networks [6]. An ANN structure consisted of three layers that are an input layer, the hidden layers and an output layer. The neurons are located in each layer and they are connected to each other by the weight value updated iteratively until target values. The adjustment of weights is named as training phase and ANN structure is then tested [7]. Many researches illustrate that ANNs achieved good classification performances in the breast cancer disease. However, the methods based on ANNs have some limitations. There are several parameters like the learning rates, the number of hidden layers and the node number of layers and the activation function in the beginning of the ANN training phase. Besides, the training process has taken longer time because of the complex network structure in each iteration requiring the expensive calculation cost and the ANN can trapped in local minima that causes lower performance.

In addition to the alternative learning algorithms, the extreme learning machines (ELMs) which used to train single hidden layer feedforward neural networks (FFNN) recently have been proposed. The starting of the hidden nodes is done randomly and fixed without iterative tuning. Moreover, the hidden nodes of the ELMs do not require to be same neuron. The weight values (free parameters) that have to calculate is the connections among to input, hidden and output layers. As such, ELMs are improved as a model that are interested in the solution of a linear system. In contradistinction for the conventional FFNN learning techniques, ELMs have a greater tendency that achieves a global optimum and they are more efficient [8–10]. ELMs together with the commonly used activation functions can achieve results close to the optimal generalization bound of the conventional FFNN [11]. The generalization and efficiency performance of ELMs compared with the traditional FFNN algorithms have been investigated for a wide range of different problems from the several fields [10, 12]. ELMs have been illustrated for having more efficiency compared with the least square support vector machines (LS-SVMs) [13], standard support vector machine (SVM) [14] and others. However, the ELMs has some limitations such as determination of node number in the hidden layer and selection of activation functions.

In the literature, there are many studies which the diagnosis of cancer is trying to be estimated by ANNs. Moreover, ANNs were combined with other heuristic methods to increase their effectiveness. The clinical reports were given that the ANN was implemented to diagnose breast cancer by using many several features of ANNs [15, 16]. The decision support system is developed on the breast cancer dataset by using an approach combined with probabilistic neural networks and rough sets [17, 18]. Hsiao et al. [19] performed an MLP classifier training using vascular indices (harmonic and non-harmonic 3D power Doppler imaging) to determine whether breast tumors were benign or malignant. In order to contribute the premature diagnosis of breast cancer disease, an artificial neural network is proposed and its accuracy rate is 77% [20]. In another study, The extreme learning method is applied to the breast cancer Wisconsin dataset for diagnosing breast cancer disease [21].

In this study, a method based on the extreme machine learning assisted by firefly algorithm (FF-ELM) is proposed for diagnosing (classification) the breast cancer disease. The FF-ELM is well trained and tested on the Breast Cancer Wisconsin dataset taken from UCI Machine Learning Repository. In terms of the accuracy rate, the performance of FF-ELM are compared with the back propagation artificial neural network (BP-ANN) and standard extreme learning method (ELM). The FF-ELM detects the diagnosis breast cancer with the best accuracy rate of 0.976 as compared with the accuracy rate of 0.964 and 0.921 reached by the ELM and BP-ANN methods, respectively [21]. The obtained results therefore show that the FF-ELM is more accurate than the BP-ANN and standard ELM model for diagnosing of the breast cancer disease.

## **2. Material and Method**

### **2.1. Breast Cancer Wisconsin Dataset**

The FF-ELM is used the Breast Cancer Wisconsin Dataset taken from UCI Machine Learning Repository. The dataset is produced by Dr. William H. Wolberg from the University of Wisconsin Hospital in the Madison [22]. There are two classes that are as the malignant and benign. The dataset consists of 699 samples, 10 attributes and a class property. Amount 65.6% (458 instances) of the

class instances are distributed as benign, the remaining of 34.5% (241 instances) is also dispersed as malignant. The information about attributes is given in Table 1.

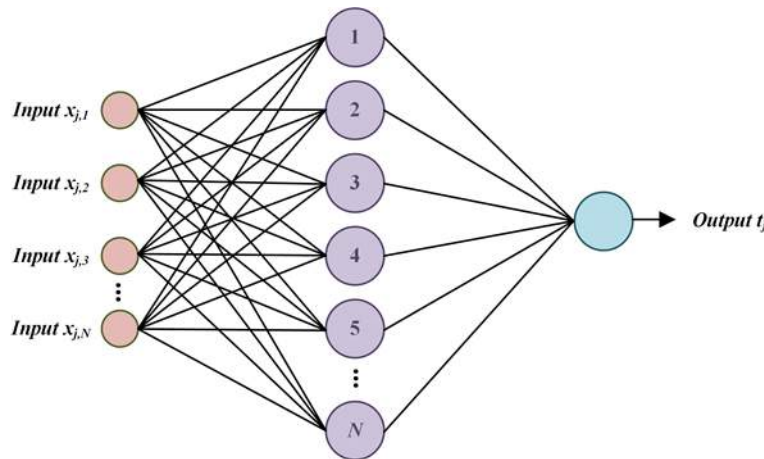
**Table 1.** The information of the attributes for Breast Cancer Wisconsin Dataset [22]

	Attributes	Value of range
1	Sample code number	Id number
2	Clump Thickness	1–10
3	Uniformity of Cell Size	1–10
4	Uniformity of Cell Shape	1–10
5	Marginal Adhesion	1–10
6	Single Epithelial Cell Size	1–10
7	Bare Nuclei	1–10
8	Bland Chromatin	1–10
9	Normal Nucleoli	1–10
10	Mitoses	1–10
11	Class	2: benign – 4: malignant

A preprocessing was applied to the raw data in the dataset to produce well and suitable data for using the training and test steps of the proposed FF-ELM method. Firstly, it was removed the sample code number attribute that is not related to the diagnosis in the dataset. A normalization process that is to be between -1 and 1 was then applied to the remaining nine attributes and it is used as a predictor. Finally, the last attribute was transformed among to 0 (benign) and 1 (malignant) values.

### 2.2. Standard Extreme Learning Machines (ELMs)

The original ELM method [10] has been proposed by Huang et al for training the single-hidden layer feedforward neural networks (SLFN). The main aim of the ELM algorithm is established on the weights of the hidden layer. Moreover, the bias values randomly produced and the computation of the output weights is performed by utilizing the least squares solution method. The architecture of the ELM is given in Fig. 1.



**Fig. 1.** The architecture of the standard ELM [10]

where,  $K$  represents to a set of unique samples  $(X_i, t_i)$ , where  $X_i=[x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}]^T \in R^k$  and  $t_i=[t_{i1}, t_{i2}, \dots, t_{il}]^T \in R^l$ .  $N$  refers the hidden layer nodes.  $g(x)$  is the activation function, which is also a mathematical model that is represented by the following equation.

$$\sum_{i=1}^N \beta_i g_i(x_j) = \sum_{i=1}^N \beta_i g_i(W_i X_j + b_i) \tag{1}$$

where,  $J=1, \dots, K$  and  $W_i=[W_{i1}, W_{i2} \dots W_{ik}]^T$  refers the weight vector that connects the hidden node and the  $i^{th}$  input nodes.  $\beta_i=[\beta_{i1}, \beta_{i2}, \dots, \beta_{il}]^T$  represents the weight vector that connects the hidden node and the  $i^{th}$  output nodes.  $b_i$  represents the  $i^{th}$  hidden node's threshold.  $W_i \cdot X_j$  represents the inner product of  $W_i$  and  $X_j$ . Selection of the output nodes is linearly done, however. The standard of SLFNs and  $N$  hidden nodes in the activation function  $g(x)$  can be taken as samples of  $K$  without error. In other words, mean:  $\sum_{j=1}^N ||o_j - t_j|| = 0$ , i.e., and there exist  $\beta_i, W_i$ , and  $b_i$  in such a way that

$$\sum_{i=1}^N \beta_i g_i(W_i X_j + b_i) = t_j, j = 1, \dots, K \tag{2}$$

From the equations given above for  $K$ , it can then be presented as follows

$$H\beta = T \tag{3}$$



where,

$$H(W_1 \dots W_N, b_1 \dots b_N, X_1 \dots X_K) = \begin{bmatrix} g(W_1 X_1 + b_1) & \dots & g(W_N X_1 + b_N) \\ \vdots & \dots & \vdots \\ g(W_1 X_K + b_1) & \dots & g(W_N X_K + b_N) \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_1^T \\ \vdots \\ \beta_N^T \end{bmatrix}_{N \times l} \quad T = \begin{bmatrix} t_1^T \\ \vdots \\ t_K^T \end{bmatrix}_{K \times l} \quad (5)$$

Eq. 3 is transformed into a linear system. Moreover, the weights of output can be calculated analytically by a least square solution.

$$\beta = H^\dagger T \quad (6)$$

where,  $H^\dagger$  is referred the Moore–Penrose as the inverse matrix for H. Thus, the weights of the output are computed by a mathematical transformation. In this way, the learning parameters such as the iteration number and the learning rate, which affects the training time length of the networks are lifted.

### 2.3. Firefly Algorithm

The firefly algorithm (FFA) inspiring by the social flashing behavior of fireflies is an optimization method based on a swarm intelligence. An important benefit of the FFA is mainly utilized the randomly generated real numbers and it is carried out the optimization process by using the global intercommunication between of individuals in the firefly swarm. In the firefly algorithm proposed by Xin-She Yang at Cambridge University, the results of the objective function for a given optimization problem are improved by using differences in light intensity. In order to achieve the optimal solutions, the abilities of fireflies moving towards brighter and more attractive locations are used. All fireflies are symbolized by their light intensities related to the objective function given for the optimization problem. The position of each firefly in the solution space is iteratively changed. There are three rules in the firefly algorithm [23–25].

- ❖ The gender of all fireflies is unisex and they move towards ones having more attractive and brighter light.
- ❖ A firefly attractiveness is commensurate with its brightness that makes smaller as the distance from the other firefly increases. If there is not more attractive firefly than a particular firefly, it will randomly perform the motion.
- ❖ A firefly brightness is established by the objective function value. For the maximization problems, the brightness is commensurate with the objective function value.

The attractiveness of each firefly is described by the  $\beta$  symbol and its value is achieved by the monotonically reducing function of the distance ( $r$ ) among to any two fireflies [23].

$$\beta(r) = \beta_0 e^{-\gamma r^m}, \quad m \geq 1 \quad (7)$$

where  $\beta_0$  indicates the maximum attractiveness (at  $r = 0$ ) and  $\gamma$  is the light absorption coefficient, that controls the reduction of the light intensity. The distance among to two fireflies  $i$  and  $j$  at positions  $x_i$  and  $x_j$  is given as follows [23];

$$r_{ij} = \|x_i - x_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (8)$$

where  $x_{i,k}$  is the  $k$ -th component of the spatial coordinates  $x_i$  of  $i$ -th firefly and  $d$  indicates the number of dimensions. The motion of a firefly  $i$  is determined by the following form [23];

$$x_i = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_j - x_i) + \alpha \left( rand - \frac{1}{2} \right) \quad (9)$$

here, the first term indicates the current position of a firefly  $i$ , the other term represents the attractiveness of a firefly. If there are not any brighter firefly, the last term is utilized for the random motion. In the most cases,  $\alpha \in (0, 1)$  and  $\beta_0 = 1$ . The value of the light absorption coefficient ( $\gamma$ ) is varied from 0.1 to 10 and this value defines the attractiveness variation and the value is in charge of the FA convergence speed [23]. The individuals in the initial population are produced by using the following expression;

$$x_i = rand(UB - LB) + LB \quad (10)$$

where,  $UB$  and  $LB$  indicate the upper and lower bounds of the  $i$ -th firefly. In the algorithm, after the initial population is evaluated, the main loop runs until the fact that the generation (iteration) number reaches the maximum value. In the end of each iteration, the firefly with the maximum light intensity is selected as the possible optimal solution.

### 2.4. The Performance Metrics

For evaluating the prediction performance of the methods, four quantifying metrics that are accuracy, sensitivity, specificity and Matthews' correlation coefficient are used [26]. These indices are defined by the following equations;

$$Accuracy = \frac{(TP + TN)}{(TP + FP + TN + FN)} \tag{11}$$

$$Sensitivity = \frac{TP}{(TP + FN)} \tag{12}$$

$$Specificity = \frac{TN}{(TN + FP)} \tag{13}$$

$$Matthews' \text{ Correlation Coefficient} = \frac{(TP \times TN - FP \times FN)}{\sqrt{(TP + FP) \times (FP + TN) \times (TN + FN) \times (FN + TP)}} \tag{14}$$

here, true positive (TP) is the number of correctly classified positives, true negative (TN) indicates the number of correctly classified negatives. FP (false positive) denotes the number of incorrectly classified positives and FN (false negative) represents the number of incorrectly classified negatives. The Matthews' correlation coefficient ensures a much more balanced evaluation performance of prediction than the other metrics. But, all three metrics are not suitable for isolated evaluation, because three metrics seriously affected by the relative frequency of the target. Upon this, the probability excess is an unbiased and robust metric for evaluating the performance of the prediction [27]. The probability excess is independent of the relative class frequencies by means of the evaluation of sensitivity and specificity values and it is given below

$$Probability \text{ Excess} = \frac{(TP \times TN - FP \times FN)}{(TP + FN) \times (TN + FP)} \tag{15}$$

If the probability excess value is than 0.5, this case is an acceptable predictive performance. The probability excess value of 1 is also an indicator of a perfect predictor.

### 3. Results and Discussion

In the ELM, the determination of hidden neuron number and the selection of activation functions greatly affects the classification performance of the ELM. The determination and selection processes of these values are manually performed with the many trials. It can be difficult that correctly determination of these values. In order to enhance the classification performance of the ELM, an ELM consisting of the FFA-based the selection of hidden layer number and activation function, is proposed in this study. The block diagram of the proposed ELM method assisted by the FFA (FF-ELM) is given in Fig 2.

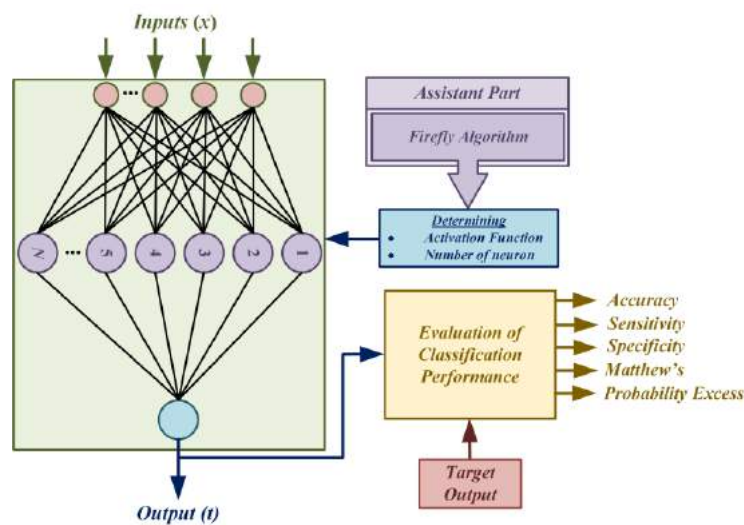


Fig. 2. The block diagram of the proposed FF-ELM

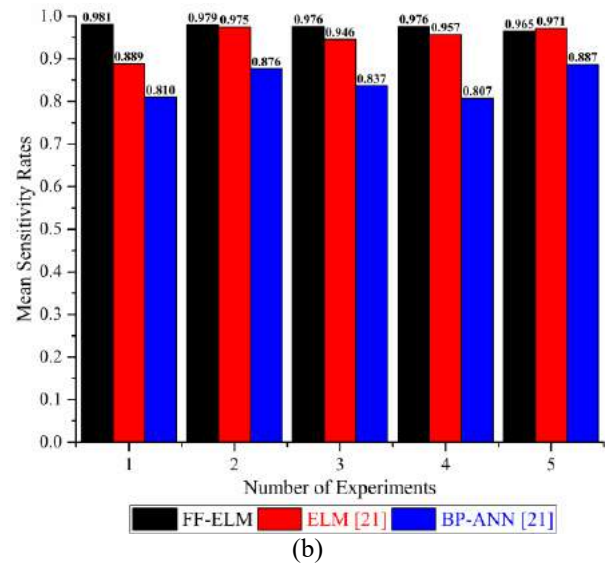
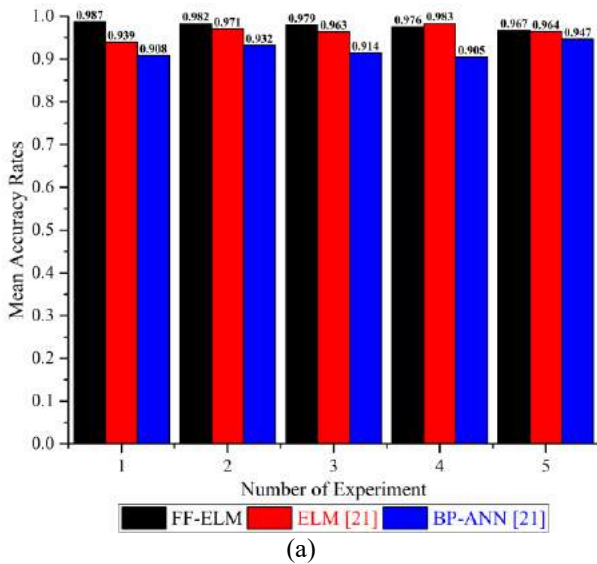
The optimization problem is two-dimensional. First size indicates the number of hidden neurons and its value varies from 10 to 10000. The other represents the activation function and it changes from 1 to 5; (The activation functions sorted from small to large: 1-Radial Basis Function, 2-Sigmoid Function, 3-Sine Function, 4-Hyperbolic tangent Function, 5-Hardlim Function). In FFA, the maximum iteration number is 1000 and the population size is 25. The value of the light absorption coefficient ( $\gamma$ ) is 0.1, mutation

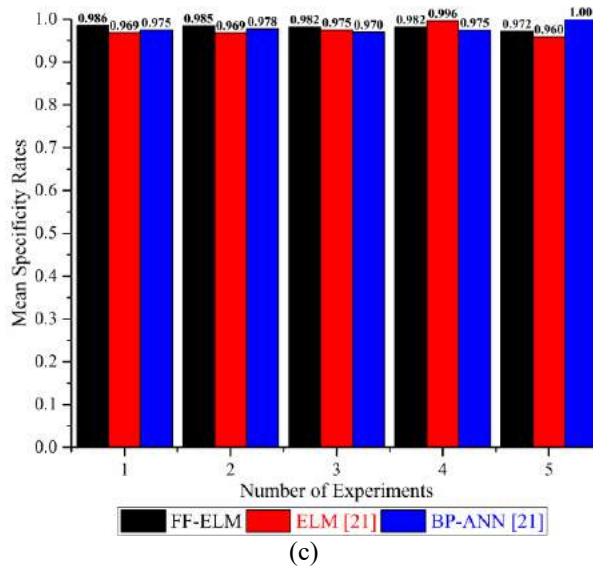
coefficient ( $\alpha$ ) is 0.2 and attraction coefficient base value ( $\beta_0$ ) is 1. In this study, The fifteen experiment in total was realized by the fivefold cross-validation sets and each experiment were run three times. All steps had been done at the workstation having an Intel® Xeon E5-1620 3.5 GHz processor, 64 GByte. The results of FF-ELM is given in Table 2.

**Table 2** The performance of the FF-ELM

Runing Number	Fold Number	Accuracy	Sensitivity	Specificity	Mathews	ProbEx
1	1	0.990	0.989	0.992	0.977	0.980
	2	0.984	0.982	0.987	0.965	0.969
	3	0.980	0.978	0.983	0.955	0.961
	4	0.974	0.971	0.978	0.942	0.950
	5	0.969	0.967	0.974	0.932	0.941
2	1	0.984	0.982	0.987	0.965	0.969
	2	0.980	0.978	0.983	0.955	0.961
	3	0.974	0.971	0.978	0.942	0.950
	4	0.969	0.967	0.974	0.932	0.941
	5	0.963	0.960	0.969	0.919	0.930
3	1	0.974	0.971	0.978	0.942	0.950
	2	0.980	0.978	0.983	0.955	0.961
	3	0.974	0.971	0.978	0.942	0.950
	4	0.984	0.982	0.987	0.965	0.969
	5	0.969	0.967	0.974	0.932	0.941
<b>Mean Statistical Metrics</b>		<b>0.976</b>	<b>0.974</b>	<b>0.980</b>	<b>0.948</b>	<b>0.955</b>

In order to exactly evaluate the performances of the FF-ELM, standard ELM and BP-ANN, the training and test process were conducted with identical experiment design given in [21] and the mean values of the performance metrics that are accuracy, sensitivity and specificity were calculated for each experiment. The comparison of the mean performance metrics among to FF-ELM, ELM [21] and BP-ANN [21] is shown in Figure 3. According to mean results of accuracy, sensitivity and specificity metrics given in the Figure 3, FF-ELM shows the superior performance in comparison to the ELM and BP-ANN. However, the performance of standard ELM in terms of accuracy metric for experiment 4 is slightly better than other. The standard ELM has also comparatively good performance in for experiment 5 in the sensitivity and experiment 4 in the specificity, respectively. The comparison mean metric results of the FF-ELM with standard ELM and BP-ANN methods can be seen in Table 2 and to obtain obvious view in evaluating performance of the FF-ELM, standard ELM and BP-ANN methods, the performance metrics given in Table 2 are converted to the graphic charts. Fig. 3 displays the whole sensitivity, specificity, and accuracy average rates between BP ANN and ELM ANN. As examined the performance results given in Table 3 and Figure 3, FF-ELM ANN were generally better than standard ELM and BP-ANN.

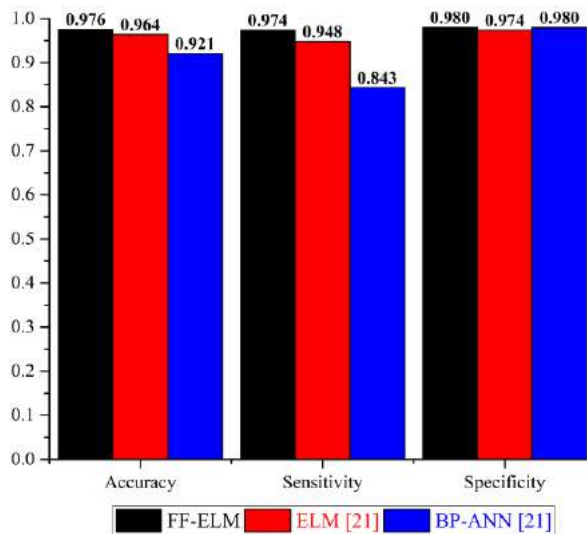




**Figure 3.** The comparison of the mean performance metrics among to FF-ELM, ELM [21] and BP-ANN [21]: (a) Accuracy, (b) Sensitivity and (c) Specificity

**Table 3** The comparative performance of the FF-ELM, standard ELM and BP-ANN

Methods	Mean Accuracy	Mean Sensitivity	Mean Specificity	Mean Mathews	Mean ProbEx
FF-ELM	0.976	0.974	0.980	0.948	0.955
ELM [21]	0.964	0.948	0.974	-	-
ANN [21]	0.921	0.943	0.980	-	-



**Figure 4.** Overall mean rates of the proposed the FF-ELM, standard ELM and BP-ANN

## 4. Conclusion

The performance of the FF-ELM was generally better than standard ELM and BP-ANN in diagnosis of the breast cancer disease. Though the overall mean specificity rate of the FF-ELM was slightly lower than BP ANN, it can be seen that the proposed FF-ELM was pretty the enhanced the sensitivity and accuracy rates. According to the achieved performance metric results, it can be concluded that the FF - ELM ANN has a better classification model than ELM and BP-ANN in diagnosing breast cancer disease based on Breast Cancer Wisconsin Dataset.

## Kaynakça

- [1] Subashini, T. S.; Ramalingam, V.; Palanivel, S., “Breast mass classification based on cytological patterns using RBFNN and SVM”, Expert Syst. Appl., 2009, 36 (3): 5284–5290.
- [2] The American Cancer Society, What is Breast Cancer.
- [3] Akay, M. F., “Support vector machines combined with feature selection for breast cancer diagnosis”, Expert Syst. Appl., 2009, 36(2), 3240–3247.

- [4] West, D.; Mangiameli, P.; Rampal, R.; West, V., "Ensemble strategies for a medical diagnostic decision support system: A breast cancer diagnosis application", *Eur. J. Oper. Res.*, 2005, 162(2), 532–551.
- [5] Brause, R. W., "Medical Analysis and Diagnosis by Neural Networks", In *Proceeding ISMDA'01 Proceedings of the Second International Symposium on Medical Data Analysis*, Madrid, Spain, 1–13, 2001.
- [6] P. Kshirsagar; N. Rathod, "Artificial neural network", *International Journal of Computer Applications*, 2012, NCRTC(2), 12–16.
- [7] N. Gupta, "Artificial neural network", *Network and Complex Systems*, 2013, 3(1), 24 – 28.
- [8] Huang, G.-B.; Chen, L., "Convex incremental extreme learning machine.", *Neurocomputing*, 2007,70(16), 3056-3062.
- [9] Huang, G.-B.; Chen, L., "Enhanced random search based incremental extreme learning machine.", *Neurocomputing*, 2008, 71(16), 3460-3468.
- [10]Huang, G.-B.; Chen, L.; Siew, C. K., Universal approximation using incremental constructive feedforward networks with random hidden nodes., *IEEE Trans. Neural Networks*, 2006, 17(4), 879-892.
- [11]Liu, X.; Lin, S.; Fang, J.; Xu, Z., "Is extreme learning machine feasible? A theoretical assessment (Part I). *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 2015, 26(1), 7-20.
- [12]Huang, G.-B.; Zhou, H.; Ding X., Zhang R., "Extreme learning machine for regression and multiclass classification", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 2012, 42(2), 513-529.
- [13]Suykens, J. A.; Vandewalle, J., "Least squares support vector machine classifiers. *Neural processing letters*", 1999, 9(3), 293-300.
- [14]Cortes, C.; Vapnik, V., "Support vector machine", *Machine learning*, 1995, 20(3), 273-297.
- [15]Abdolmaleki, P.; Buadu, L.D.; Naderimanesh, H., "Feature extraction and classification of breast cancer on dynamic magnetic resonance imaging using artificial neural network", *Elsevier, Cancer Letters*, 2001, 171 (2), 183-191.
- [16]Fogel, D. B.; Wasson, E.C.; Boughton, E.M.; Porto, V.W., "A step toward computer assisted mammography using evolutionary programming and neural Networks", *Cancer Letters*, 1997, 119(1), 93-97.
- [17]Revett, K.; Gorunescu, F.; Gorunescu, M.; El-Darzi E.; Ene, M., "A breast cancer diagnosis system: a combined approach using rough sets and probabilistic neural Networks", *Computer as a tool Eurocon 2005, Belgrade*, 2005, 1124- 1127.
- [18]Gorunescu, M.; Gorunescu, F.; Revett, K., "Investigating a Breast Cancer Dataset Using a Combined Approach: Probabilistic Neural Networks and Rough Sets", *Proc. 3rd ACM International Conference on Intelligent Computing and Information Systems - ICICIS07, Cairo, Egypt*, , 246-249, 2007.
- [19]Hsiao, Y.H.; Huang, Y.L.; Liang, W.M.; Kuo S.J.; Chen D.R., "Characterization of benign and malignant solid breast masses: harmonic versus nonharmonic 3D power Doppler imaging", *Ultrasound Medicine & Biology*, 2009, 35 (3), 353-359.
- [20]Karapınar Şentürk, Z.; Şentürk, A., "Neural Networks with Breast Cancer Forecast", *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 2016, 3(2), 345-350.
- [21]Prasetyo Utomo, C.; Kardiana, A.; Yuliwulandari, R., "Breast Cancer Diagnosis using Artificial Neural Networks with Extreme Learning Techniques", *International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence*, 2014, 3(7), 10-14.
- [22]Wolberg, W. H.; Mangasarian, O. L., "Multisurface method of pattern separation for medical diagnosis applied to breast cytology", in *Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A.*, 87, 9193–9196, 1990.
- [23]Yang, X.S., *Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms*, Luniver Press, London, 2008.
- [24]Yang, X. S., "Firefly algorithms for multimodal optimization", *Stochastic Algorithms: Foundations and Applications, SAGA, Lecture Notes in Computer Sciences 5792*, 169–178, 2009.
- [25]Łukasik, S.; Żak, S., "Firefly algorithm for continuous constrained optimization task", *Computational Collective Intelligence. Semantic Web, Social Networks and Multiagent Systems LNCS 5796*, 97–106, 2009.
- [26]Melamud, E.; Moulton, J., "Evaluation of Disorder Predictions" in *CASP5. Proteins* 53:561–565, 2003.
- [27]Yang, R. Z.; Thomso, R.; Mcneil, P.; Esnouf, R. M., "RONN: The bio-basis function neural network technique applied to the detection of natively disordered regions in proteins", *Bioinformatics*, 2005, 21, 3369–3376.





# Investigation a Fuzzy Logic-based Controller for Step-up Converters

Davood Ghaderi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve doğa bilimleri Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2234-3453)

(İlk Geliş Tarihi 1 Ağustos 2019 ve Kabul Tarihi 6 Kasım 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.620066)

**ATIF/REFERENCE:** Ghaderi, D. (2019). Investigation a fuzzy logic-based controller for step-up converters. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 645-654.

## Öz

Akıllı DA-DA Dönüştürücülerinin özellikle yenilenebilir enerji kaynakları (RES) uygulamalarında artan kullanımı göz önünde bulundurulduğunda, uygun bir kontrol sistemi tasarımı, verim ve güvenilirlik açısından son derece önemlidir. Normal çalışma koşullarında, her DA-DA güç dönüştürücü yapısı, genellikle dönüştürücü çıkışında sabit bir gerilim kontrol bloğuna ve dönüştürücünün yarı iletken güç anahtarı tarafında bir görev döngüsü kontrolü bloğuna sahiptir. Klasik yöntemlerde, geri besleme kontrol döngülerinde orantılı-integral türev (PID) kontrolörü kullanılmaktadır. Bu kontrolör ile ilgili temel sorun, DA-DA dönüştürücüler gibi doğrusal olmayan sistemlerde, davranışlarının yalnızca sistemin çalışma noktasında en uygun olmasıdır. Bulanık mantık denetleyicisi, bu tür sistemlerin büyük sinyal değişimi senaryolarındaki davranışlarını iyileştirmek için kullanılabilir. Ek olarak, normal şartlarda ve dönüştürücüde bir hata olması durumunda, sistemin davranışında önemli bir iyileşme görülmektedir. Bu çalışmada, yükseltici dönüştürücüyü kontrol etmek için bulanık mantık ilkeleri kullanılmıştır. Dönüştürücünün çıkış gerilimi, gürültü, yük değişimleri ve giriş gerilimi değişimleri gibi sistem hatalarına karşı kararlı olmalıdır. Tasarlanan bulanık denetleyicideki yenilik, bu denetleyicinin daha önce tasarlanan kontrolörlerin giriş-çıkış bilgisine ve deneysel olarak zamana bağlı değişkenlere dayanmasıdır. Bulanık mantık denetleyicisini kullanarak, sistem parametreleri bu oynamalara karşı kararlı olması sağlanmaktadır. Performans koşulları MATLAB yazılımı kullanılarak benzetilmiştir. Anahtar Kelimeler: DA-DA dönüştürücüsü, Yenilenebilir enerji uygulamaları, Yüksek kazançlı dönüştürücüler, Yükseltici yapılar.

## Yükseltici DA-DA Dönüştürücülerini için Bir Bulanık Mantık Tabanlı Denetleyici

### Abstract

Considering the increasing use of intelligent DC-DC converters especially in Renewable Energy Sources (RESs) applications, designing a proper control system is important and can increase the efficiency and reliability. In normal operating conditions, each DC-DC power converter structure, often has a constant voltage control loop in the converter output and a duty cycle controller in the semiconductor power switch side of the converter. The classical methods have a proportional-integral-derivative (PID) controller in their feedback control loop. The problem with these controllers is that in non-linear systems such as DC-DC converters, their behavior is only optimal at the point of operation of the system. A fuzzy logic controller can be used to improve their behavior in large signal variation scenarios. In addition, the behavior of the system in normal conditions and in the event of an error in the converter, has a significant improvement. In this paper, the principles of fuzzy logic are used to control the Boost converter. Since the output voltage of the converter should be stable against system errors such as noise, load changings, and input voltage variations, the novelty of the designed fuzzy controller is based on the input-output information of the previous designed controllers as well as the experimental knowledge based on the time-dependent variables. By using the fuzzy logic controller, the system parameters will be stable against these volatilities. Performance conditions are simulated using MATLAB software.

**Keywords:** Fuzzy Logic Controller, Step-up Converters, Photovoltaic Panels, Renewable Energy Sources.

\* Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve doğa bilimleri Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2234-3453), [davood.ghaderi@btu.edu.tr](mailto:davood.ghaderi@btu.edu.tr)

## 1. Giriş

Photovoltaic (PV) systems are among the renewable energy sources whose share in scattered energy production is increasing day by day. The photovoltaic phenomenon is referred to as a photovoltaic system in any system that uses this phenomenon to produce electricity through the use of stimulating mechanisms without the use of stimulus mechanisms. The smallest component of the solar photovoltaic system is the solar cell that converts the sun energy into electrical energy. It has normally a voltage of about 1.5V and current of about 6 amps for flattening cells and can generate about 3 watts of electrical power [1].

With a serial connection of solar cells, a string of them with a higher power characteristic is formed. Whenever we parallel several strands of the same optic cell, the solar module unit is generated with higher current, voltage and power. The larger unit of the solar panel is created by the parallelization of several solar modules.

Eventually, solar panels arise with considerable power from the series and parallel solar panels.

The photovoltaic energy source generates electrical energy in its DC form. If the energy consumption of loads is in the form of ac energy, any renewable system, whether connected to a network or separately from the network, will require the power transformation from DC to ac mode by an inverter. On the other hand, the voltage of the photovoltaic source will be obtained at a lower level than the voltage level of the network or the required load voltage, and as the inverters are normally voltage reducing converters, we will inevitably use a boost converter class. So, if the DC consumption is a charge, then we will need a voltage increasing converter class due to the low-voltage generation by the photovoltaic source. By setting the incremental converter elements and proper key stimulation, we can obtain the appropriate output boosted voltage [2-3].

We should note that the solar system can operate in two modes connected to the network or as a separate network. In the unconnected mode of the network, the goal is to feed sensitive loads away from the network, which, of course, requires the use of energy storage elements to offset the natural changes in the power of resources. In this case, the power control is simpler than the network-connected mode, due to the lack of need for synchronization, simpler power management and less protection problems. In the connected to the network mode, the energy of power supplies is delivered to the network set and load. In this case, in addition to active power injections, the system can be used for reactive power injections and network voltage support. The inverter connected to the network is different from the inverter island, it uses the line voltage frequency as a control parameter to ensure that the output of the photovoltaic system is completely network-synchronous [4-5]. Switching power control is always important for times variable and nonlinear states. Linear control methods are not resistant to sudden changes in load and input voltage, and therefore, dc-dc converters with suitable control methods are required to generate optimal output, despite all the disturbances [6-7].

Proportional-integral-derivative controller has been used in many applications for simplicity, but the PID controller's defect has little ability to interact with system uncertainties, such as parameter variations and output disturbances, and when the control action quickly changes from one mode to another state, the system topology also changes that is not trackable by ID very good [8].

Therefore, it is felt that the goal of all controllers designed for switching converters should be to control the variable parameters of the structure. Sliding Mode Controllers (SMCs) are used in many control cases, due to inherent robustness and their ability to reduce the order of the system [9-10]. The use of these kind of controllers in unlimited switching frequencies is called the Chattering phenomenon [11]. However, high-speed switching shows additional switching losses and Electromagnetic Interference (EMI) problems [12]. In general, the constant switching frequency in power electronics is preferable for easier removal electromagnetic interference approaches and better use of magnetic components. [13-14]. But this technique needs to the complicated mathematical models and for a structure with complex topology, SMC is difficult to be expanded and investigated.

Fuzzy logic control (FLC) has been successfully applied to a wide variety of engineering problems, including dc-to dc converters. It has been shown that fuzzy control can reduce development costs and provides better performance than linear controllers. With advances in digital hardware and digital control techniques, it is becoming feasible to implement control schemes such as fuzzy logic for power converters.

Fuzzy logic systems do not require precise mathematical models of the system under control, and so are used to solve many unknown problems [15]. It provides simple solutions to the control of ambiguous, time-varying, complex, well-defined systems as in everyday life. [16].

Fuzzy control is an attractive control method because its structure, which consists of fuzzy sets that allow partial membership and "if . . . then. . ." rules, resembles the way human intuitively approaches a control problem. This makes it easier for a designer to incorporate heuristic knowledge of a system into the controller.

If the system is one that can be defined by a simple mathematical model, then a conventional control will suffice. But applying traditional logic to a complex system is both very difficult and costly. In contrast, fuzzy logic control can analyze the system better than traditional logic and it is also economical [17]. In fuzzy logic, fuzzy control usually results faster with smaller software, since the signals are preprocessed and the values over a large area are reduced to a small number of membership functions [18].

As the number of rules to be applied on the small number of mentioned values is less, the result will be faster. It is possible to reach the result even faster with a specially developed hardware. Another advantage of fuzzy logic control is that it allows direct user input and user experience.

Based on importance of the DC-DC boost converters in PV applications to enhance the DC voltage level of these panels to grid application level, this study presents a Fuzzy Logic based Controller (FLC) for these converters with considering the internal resistance of the inductor, at 50KHz switching frequency by seven step membership functions for receiving the minimum value of the error for the Maximum Power Point Tracking (MPPT) approach.

## 2. Fundamental of Proposed FLC method

Fuzzy logic is a rule-based decision making method used for expert systems and process control. Fuzzy logic differs from conventional logic in that it has partial membership in a set. Traditional logic consists of one variable being present only in one set and not in the other, while in the fuzzy logic, one variable consists of more than one set with partial membership. Fuzzy model is a system of variables associated with fuzzy logic. Fuzzy Logic Controller uses defined rules built on the current values of input variables to control the Fuzzy system. This model consists of three linguistic variables, membership functions and rules parts. Linguistic variables are defined as the input and output variables of the system to be controlled. This Controller requires at least one input and output variable. Linguistic definitions represent the categories of values of the language variable and membership functions are numerical functions corresponding to their linguistic definitions. A membership function determines the degree of membership within the linguistic definitions of a linguistic variable. Rules are defined as the relationship between input and output variables built on linguistic definitions. Rule bases are the set of rules for the fuzzy system. The rule base is equal to the control strategy. Fuzzy logic is artificial intelligence control which is used to control many physical systems which are difficult to derive or nonlinear. There are three basic parts in the fuzzy logic process including fuzzification, implementation of a linguistic control strategy and de-fuzzification. This has been illustrated in figure 1. Figure 1a presents the process of the proposed converter and figure 1b shows the membership function and fuzzy interface system.

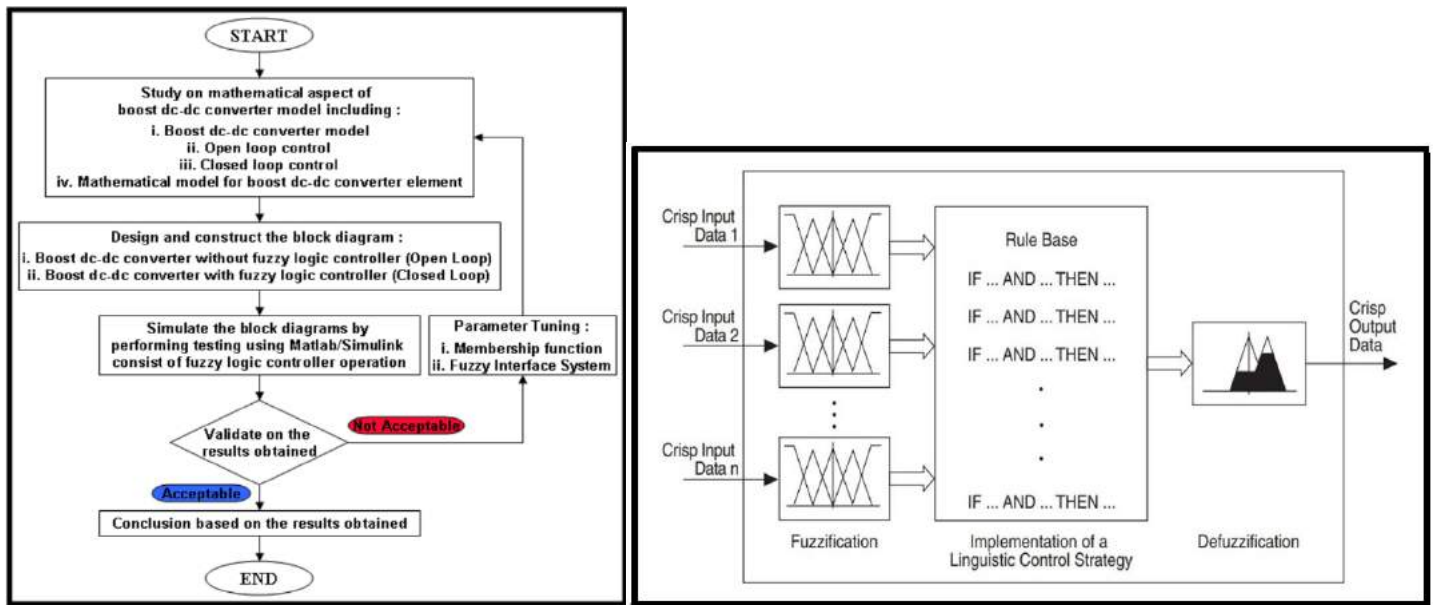
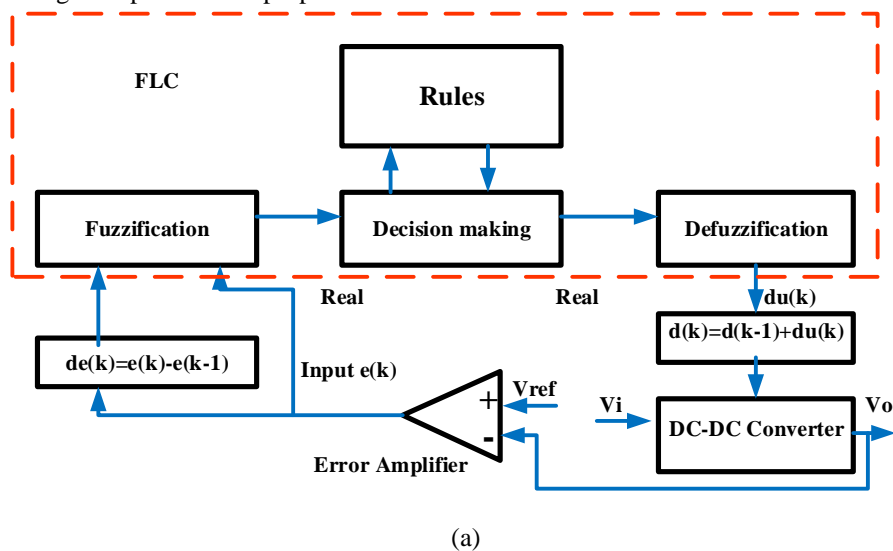


Figure 1. (a) Process of Fuzzy Logic Controller and (b) membership function and fuzzy interface system.

**fuzzification** is the process of converting the numerical input values of input linguistic variables into definitions that correspond to linguistic terms according to membership functions. The **control strategy** uses rules and the associated input linguistic terms to determine the resulting linguistic definitions of the fuzzy logic controller output linguistic variables after the input values are blurred. **de-fuzzification** is the process of converting the membership degrees of output linguistic variables in numerical terms into numerical values. The fuzzy logic controller for de-fuzzification uses different mathematical methods. The choice of this method varies depending on the control application. Figure 2 presents the proposed converter and the controller structure.



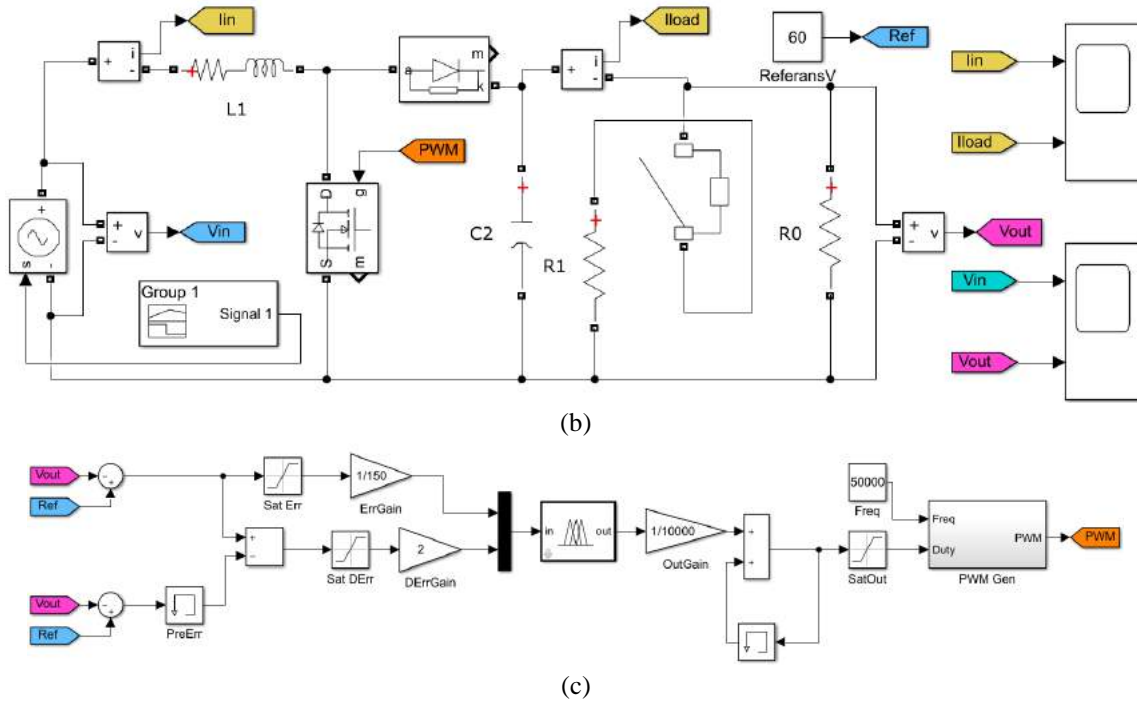


Figure 2. (a) MATLAB / SIMULINK model of boost converter circuit, (b)Fuzzy Logic Controller input variables

In figure 2a, the general algorithm of the proposed converter and controller is shown and figures 2b and 2c present the boost converter and controller in MATLAB/SIMULINK respectively.

The membership functions determined for the error are shown in figure 3. These functions are: Negative Big (NB) / Negative Medium (NM) / Negative Small (NS) / Zero (Z) / Positive Small (PS) / Positive Medium (PM) / Positive Big (PB).

Error (E) and the change values for the error ( $\Delta E$ ) are the input signals of the proposed FLC and the duty cycle (d) is the output signal. Meanwhile, E determines the maximum power point direction and the  $\Delta E$  shows the error direction. The modeling of these functions can be seen in figure 5. The error function can be calculated by (1):

$$E(t) = \frac{P(t) - P(t-1)}{V(t) - V(t-1)} \quad (1)$$

$$\Delta E(t) = E(t) - E(t-1) \quad (2)$$

In this equation, the  $P(t)$  and  $V(t)$  is the output power of the boost converter and the input voltage for the converter in t time respectively.  $P(t-1)$  and  $V(t-1)$  are the power and voltage values for the previous moment. The Fuzzy membership function for the E,  $\Delta E$  and D is presented in figures 3,4 and 5 respectively.

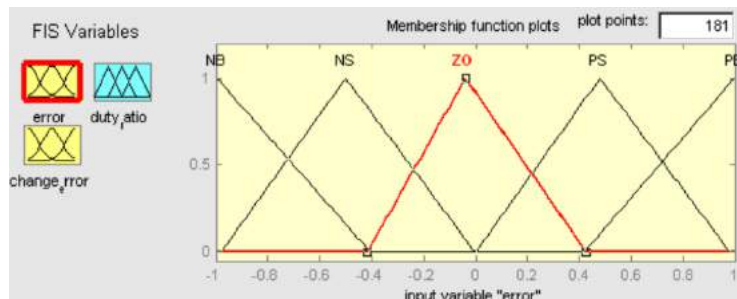


Figure 3. "error" input membership functions for fuzzy logic controller

The membership functions determined for changing the error are shown in figure 4. These functions are: NB / NS / ZO / PS and PB input for fuzzy logic Membership functions determined for the exit are as shown in figure 5. The names of these functions are: NB / NS / ZO / PS / PB.

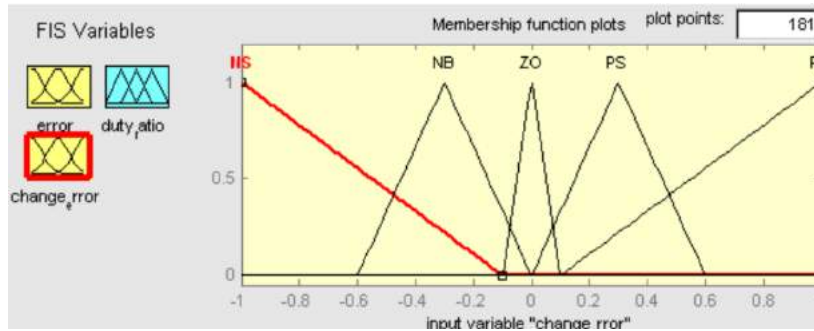


Figure 4. Membership functions for "error change"

Once the inputs, outputs and membership functions are specified, rules are set. To do this, open the Rules Editor Trough Edit> Rules menu. The table used in this application is given in Table 1. By considering this figure, it can be proven, for negative value of the error  $e$  and  $de$ , controller decreases the duty cycle of the power switch to the minimum possible value, for negative  $e$  and positive  $de$ , it turns the switch on for a short duty cycle, for positive  $e$  and negative  $de$ , the time duration of the duty cycle is increasing more and for positive  $e$  and  $de$ , the duty cycle is being higher and higher. These all are confirming the theories around the table 1 and show the rules are working in a proper way.

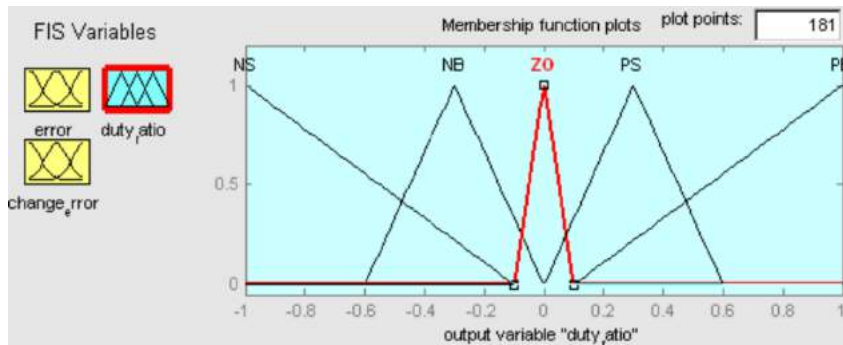


Figure 5. Membership output functions for fuzzy logic

Table 1. Rules Table.

<b>E</b>	<b>NM</b>	<b>NS</b>	<b>ZO</b>	<b>PS</b>	<b>PB</b>
<b>de</b>					
<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NS</i>	<i>ZO</i>
<i>NS</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NS</i>	<i>ZO</i>	<i>PS</i>
<i>ZO</i>	<i>NB</i>	<i>NS</i>	<i>ZO</i>	<i>PS</i>	<i>PB</i>
<i>PS</i>	<i>NS</i>	<i>ZO</i>	<i>PS</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>
<i>PB</i>	<i>ZO</i>	<i>PS</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>

### 3. Simulation results

For simulation purpose, since the input voltage is considered to given from a PV panel, based on irradiation and temperature can generate different voltages. So different level of input voltages between 18 and 30VDC has been applied to the boost converter and the performance of the FLC has been evaluated. The state of the input voltages has been illustrated in figure 6. At the start point a 24VDC is applied and in  $t=0.5$ sec the voltage changes to 18 VDC and finally at the  $t=1$  sec, input voltage increased to 30 VDC. Also, since the load value can change in different times of a day, two different loads have been considered in the load side and the performance of the proposed controller has been examined.



A good controller should present a fix voltage at the output side by different loads and input voltages values and at the changing points it should reach to the desired value in a short time with minimum values of the overshoots or undershoots.

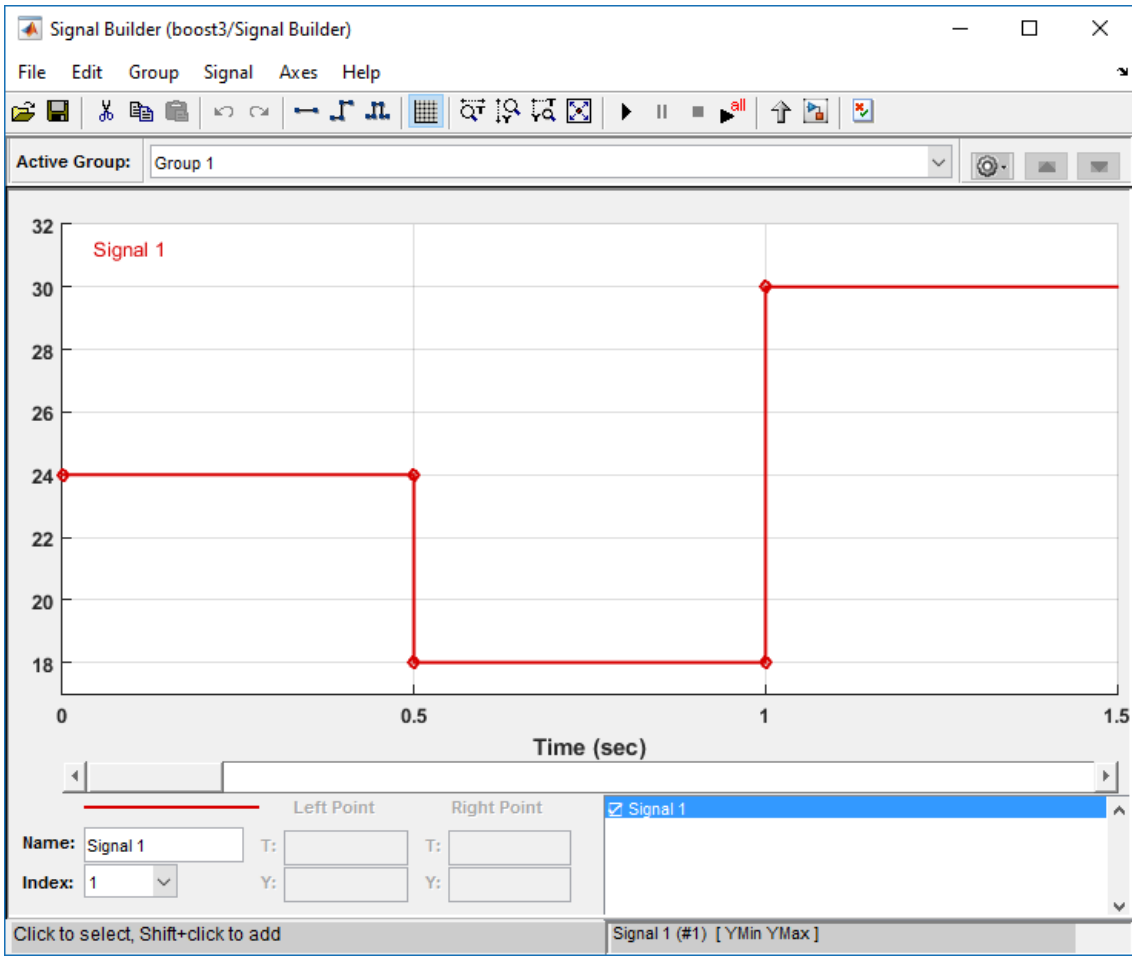


Figure 6. Input voltage used for simulation

Figure 7 presents the output voltage of the boost converter by proposed FLC. As the output voltage we fixed the reference voltage on 60 VDC. So, the controller should fix the output voltage on this rate.

As can be seen at the change points in  $t=0.5$  sec and 1 sec, an undershoot and overshoot at the curve appear respectively, because the second voltage level is smaller and third voltage level is greater than previous level.

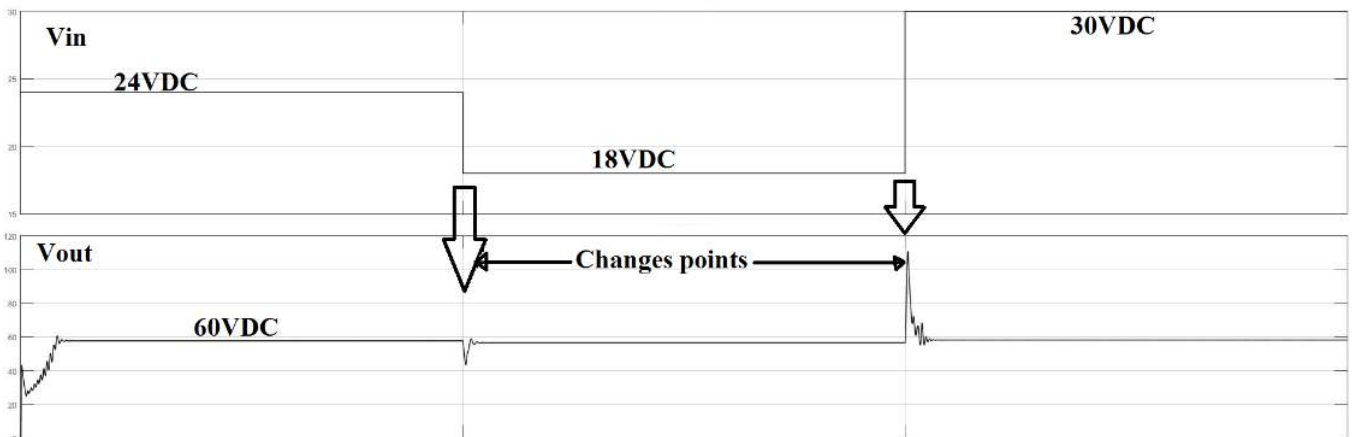


Figure 7. Output voltage under 40Ω resistive load

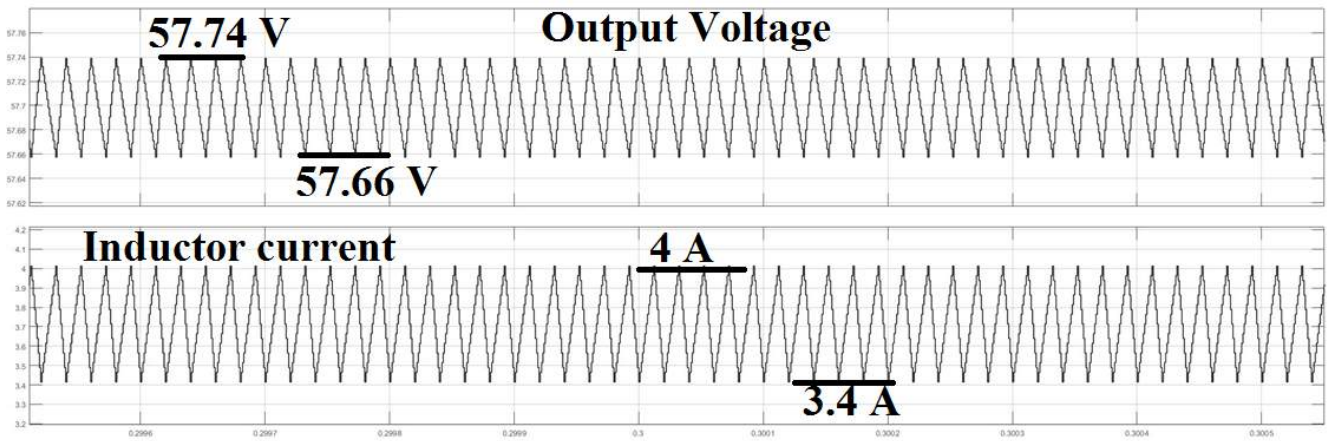


Figure 8. Output voltage and input currents oscillation ratios for 40Ω resistive load

Figure 8 illustrates this voltage fluctuation under a 40Ω resistive load, and as can be seen, this oscillation ratio is in a good limit. Also this figure shows the inductor current and 0.6A of oscillation has been reported for this amount of the load. Based on figures 7 and 8, the average time of the controller to reach the final value of the voltage is around 0.04 sec for after any change that has a considerable improvement in comparison with classical PI or PID controllers. For 30Ω load this time is shorter and as figure 9 shows, it decreased to 0.2 sec.

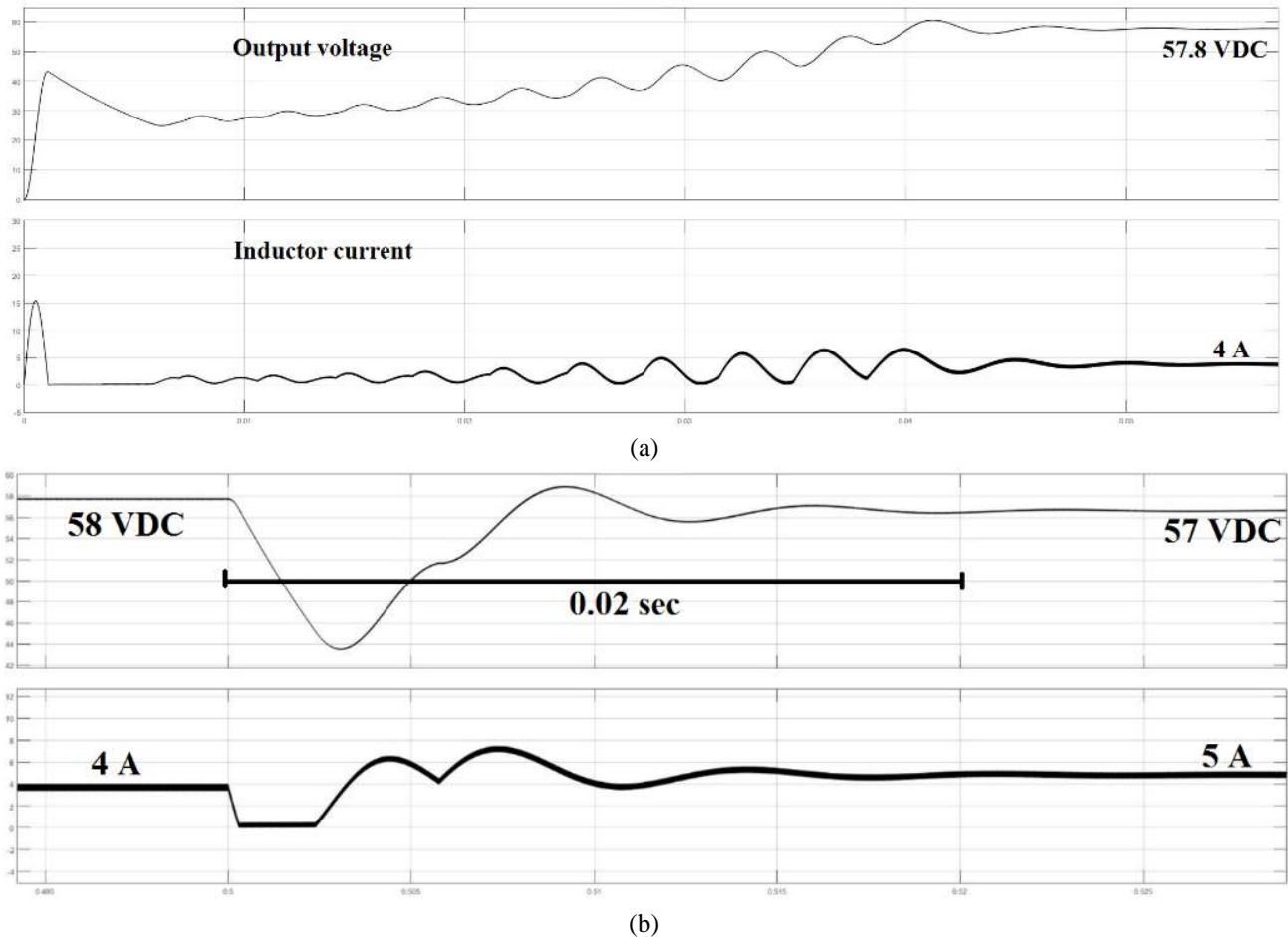


Figure 9. (a) Output voltage and input currents for a 30Ω resistive load with 24 VDC input voltage, and (b) time to trap the final values of output voltage and input current

Figure 10 illustrates the same changes of the voltage for the converter under proposed Fuzzy Logic Controller and 100Ω of the output load. As it was predictable, for limiter currents in the input and output sides of the converter, the voltage is more stable and overshoot or undershoot amounts are shorter.

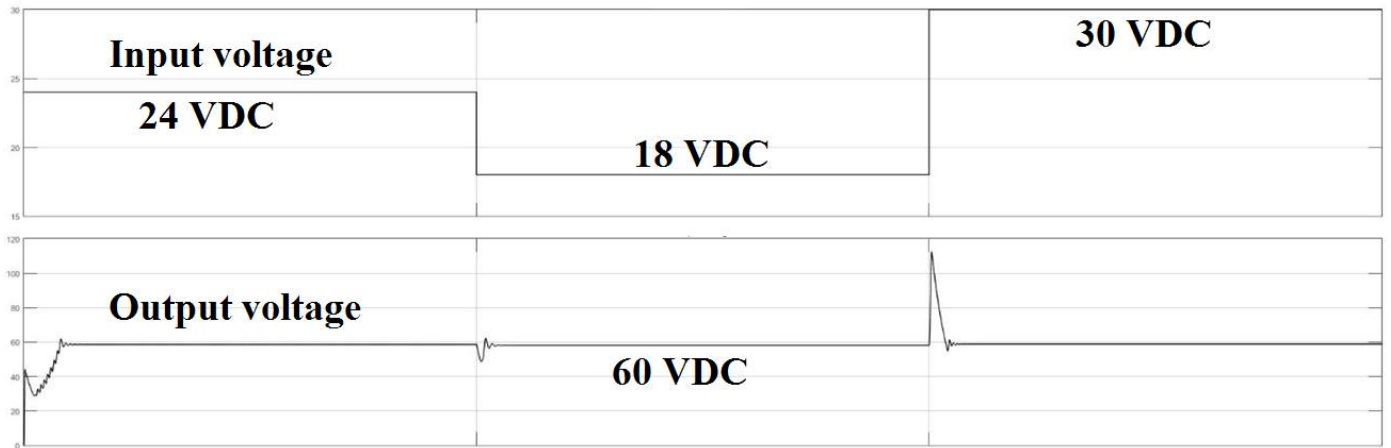


Figure 10. Output voltage under 100Ω resistive load

Figure 11 presents the fluctuations of the output voltage and input current in detail, and as can be seen, 0.34 V for the output voltage and 0.63 A for input current have been reported.

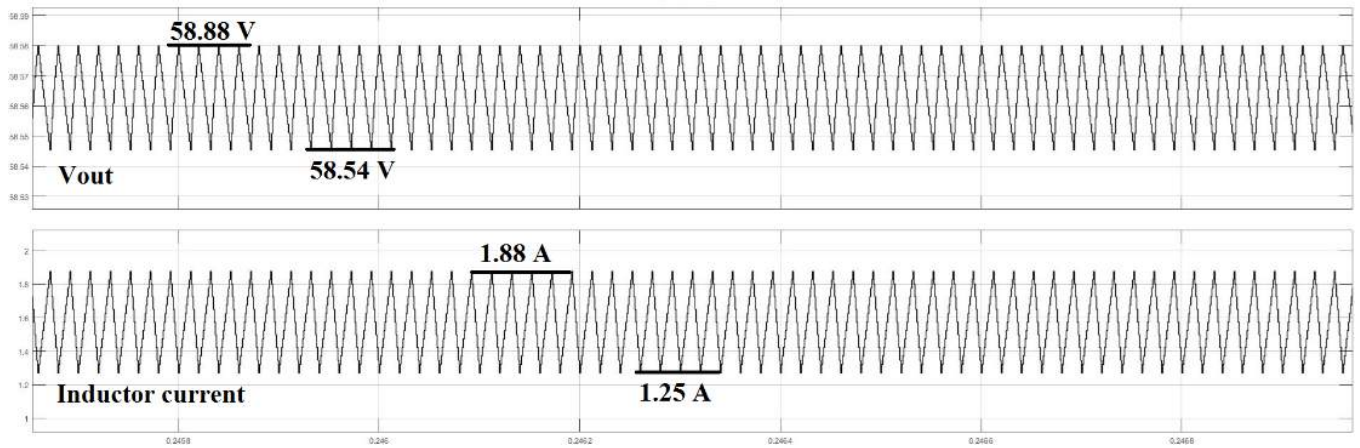
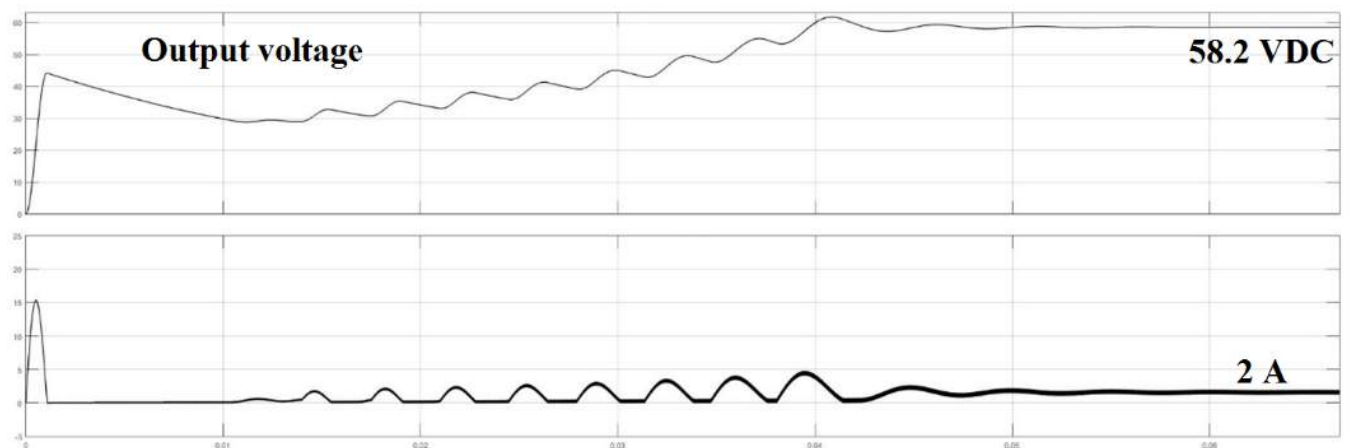
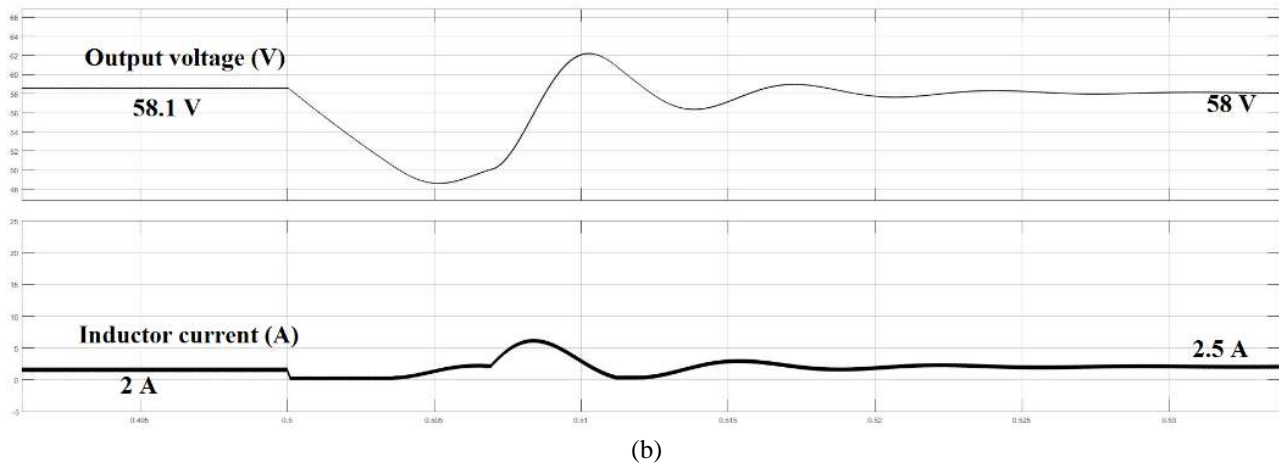


Figure 11. Output voltage and input currents oscillation ratios for 40Ω resistive load

Figure 12 presents the state of the output voltage and input current waveforms under 24 VDC as the input voltage and 75Ω as the output load. This result is closed to results of figure 10 and the time interval for the signals to reach to the final values is less than 0.02 sec that is related to level of the currents in the circuit because of the higher resistive load value of limited value of the current at the load side.



(a)



(b)

Figure 12. (a) Output voltage and input currents for a  $75\Omega$  resistive load with 24 VDC input voltage, and (b) time to trap the final values of output voltage and input current

## 4. Conclusion

As the Fuzzy Logic Controller (FLC) has many advantages and specifications like, organizing uncertain and complex systems in daily life with simple solutions, analyzing better than classical logic, preprocessing of systems results in smaller software, allowing direct user input and user experience, using of devices with more accurate, being based on natural language, and modelling the non-linear functions.

On the other hand, different types of the step-up converters with various control structures are presenting by researchers by considering the widespread uses of the Renewable Energy Sources (RESs) and especially the PV panels. Sometimes, the modelling process for a converter especially for them which have more the one power switch, or uses the transformers or inverters block really is hard and so, the controller structure that should be based on mathematical model of the converter is difficult to design. The main advantage of the FLC method is working with only output signal in a DC-DC converter and designing the fuzzy rules based on predictions and experiences. So without any mathematical model the control process of the converter will be possible.

This paper presents a FLC model for DC-DC step-up converters based on input-output information of the previous designed controllers as well as the experimental knowledge based on the time-dependent variables. The output voltages of the converter with the proposed controller for different values of the input voltages and output loads have been evaluated and the settling time of these signals and overshoot and undershoot ratios have been analyzed.

## References

- [1.] Martins, A. C., Chapuis, V., Virtuani, A., and Ballif, C., "Robust Glass-Free Lightweight Photovoltaic Modules with Improved Resistance to Mechanical Loads and Impact", *IEEE Journal of Photovoltaics*, vol. 9, no. 1, pp. 245-251, Jan. 2019. doi: 10.1109/JPHOTOV.2018.2876934
- [2.] Bayrak, G., Ghaderi, D., "An improved step-up converter with a developed real-timefuzzy-based MPPT controller for PV-based residential applications", *Int Trans Electr Energy Syst.* 2019;e12140. <https://doi.org/10.1002/2050-7038.12140/>.
- [3.] Ghaderi, D., Bayrak, G., "A Novel Step-Up Power Converter Configuration for Solar Energy Application", *Elektronika ir Elektrotechnika*, vol. 25, no. 3, pp. 50-55, July. 2019, doi: <https://doi.org/10.5755/j01.eie.25.3.23676>.
- [4.] Li, J., Xu, Z., Zhao, J., and Wan, C., "A Coordinated Dispatch Model for Distribution Network Considering PV Ramp", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 33, no. 1, pp. 1107-1109, Jan. 2018. doi: 10.1109/TPWRS.2017.2735901.
- [5.] Sabry, Y. H., Hasan, W. Z. W., Sabry, A. H., Kadir, M. Z. A. A., Radzi, M. A. M., and Shafie, S., "Measurement-Based Modeling of a Semitransparent CdTe Thin-Film PV Module Based on a Custom Neural Network", *IEEE Access*, vol. 6, pp. 34934-34947, 2018. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2848903.
- [6.] Mohd Zainuri, M. A. A., Mohd Radzi, M. A., Soh, A. C., and Rahim, N. A., "Development of adaptive perturb and observe-fuzzy control maximum power point tracking for photovoltaic boost dc-dc converter", *IET Renewable Power Generation*, vol. 8, no. 2, pp. 183-194, March 2014. doi: 10.1049/iet-rpg.2012.0362.
- [7.] Wang, J., Wu, H., Yang, T., Zhang, L., and Xing, Y., "Bidirectional Three-Phase DC-AC Converter with Embedded DC-DC Converter and Carrier-Based PWM Strategy for Wide Voltage Range Applications", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 66, no. 6, pp. 4144-4155, June 2019. doi: 10.1109/TIE.2018.2866080.
- [8.] Chen, Q., Li, W., and Chen, G., "P+ID Controller for a Constant Tension Winch in a Cable Laying System", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 64, no. 4, pp. 2924-2932, April 2017. doi: 10.1109/TIE.2016.2633235.

- [9.] Chincholkar, S. H., Jiang, W., and Chan, C., "An Improved PWM-Based Sliding-Mode Controller for a DC–DC Cascade Boost ", IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, vol. 65, no. 11, pp. 1639-1643, Nov. 2018. doi: 10.1109/TCSII.2017.2754292.
- [10.] Lopez-Santos, O., Martinez-Salamero, L., Garcia, G., Valderrama-Blavi, H., and Sierra-Polanco, T., "Robust Sliding-Mode Control Design for a Voltage Regulated Quadratic Boost Converter", IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 30, no. 4, pp. 2313-2327, April 2015. doi: 10.1109/TPEL.2014.2325066.
- [11.] Caponigro, M., Ghezzi, R., Piccoli, B., and Trélat, E., "Regularization of Chattering Phenomena via Bounded Variation Controls", IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 63, no. 7, pp. 2046-2060, July 2018. doi: 10.1109/TAC.2018.2810540.
- [12.] Yao, T., Nan, C. and Ayyanar, R., "A New Soft-Switching Topology for Switched Inductor High Gain Boost", IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 54, no. 3, pp. 2449-2458, May-June 2018. doi: 10.1109/TIA.2018.2791972.
- [13.] Yao, C., "Adaptive Constant Power Control of MHz GaN-Based AC/DC Converters for Low Power Applications", IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 54, no. 3, pp. 2525-2533, May-June 2018. doi: 10.1109/TIA.2018.2804319.
- [14.] Yue, X., Boroyevich, D., Lee, F. C. F., Chen, R. Burgos and Zhuo, F., "Beat Frequency Oscillation Analysis for Power Electronic Converters in DC Nanogrid Based on Crossed Frequency Output Impedance Matrix Model", IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 33, no. 4, pp. 3052-3064, April 2018. doi: 10.1109/TPEL.2017.2710101.
- [15.] Hannan, M. A., Ghani, Z. A., Hoque, M. M., Ker, P. J., Hussain, A., and Mohamed, A., "Fuzzy Logic Inverter Controller in Photovoltaic Applications: Issues and Recommendations", IEEE Access, vol. 7, pp. 24934-24955, 2019. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2899610.
- [16.] Elbarbary, Z. M., Hamed, H. A., and El-Kholy, E. E., "Comments on "A Performance Investigation of a Four-Switch Three-Phase Inverter-Fed IM Drives at Low Speeds Using Fuzzy Logic and PI Controllers", IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 33, no. 9, pp. 8187-8188, Sept. 2018. doi: 10.1109/TPEL.2017.2743681.
- [17.] Hannan, M. A., Ghani, Z. A., Mohamed, A., and Uddin, M. N., "Real-Time Testing of a Fuzzy-Logic-Controller-Based Grid-Connected Photovoltaic Inverter System", IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 51, no. 6, pp. 4775-4784, Nov.-Dec. 2015. doi: 10.1109/TIA.2015.2455025.
- [18.] M. S. Zaky and M. K. Metwaly., "A Performance Investigation of a Four-Switch Three-Phase Inverter-Fed IM Drives at Low Speeds Using Fuzzy Logic and PI Controllers", IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 32, no. 5, pp. 3741-3753, May 2017. doi: 10.1109/TPEL.2016.2583660.





# Yanıt Yüzey Metodolojisi Kullanılarak Dulavratotu (*Arctium Lappa*) 'dan Antioksidanların Mikrodalga Destekli Ekstraksiyonunun Modellenmesi ve Optimizasyonu

Burcu Bekdeşer<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Kimya Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4555-2434)

(İlk Geliş Tarihi 8 Ekim 2019 ve Kabul Tarihi 6 Kasım 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.631016)

**ATIF/REFERENCE:** Bekdeşer B. (2019). Yanıt Yüzey Metodolojisi Kullanılarak Dulavratotu (*Arctium Lappa*) 'dan Antioksidanların Mikrodalga Destekli Ekstraksiyonunun Modellenmesi ve Optimizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 655-662.

## Öz

Dulavratotu (*Arctium lappa* L.), geleneksel tıpta sıklıkla kullanılan ticari olarak önemli bir bitkidir. Mikrodalga destekli ekstraksiyonun (MAE) sıcaklık, ekstraksiyon süresi, katı / solvent oranı ve solvent konsantrasyonunu içeren optimum çalışma koşulları, cevap yüzey metodolojisi (RSM) kullanılarak belirlendi. Dulavratotu yaprağı ekstraktlarının toplam antioksidan kapasitesi ve toplam fenolik içeriği sırasıyla CUPRAC ve Folin yöntemleri ile incelenmiştir. İkinci dereceden bir polinom modelinin TAC ve TPC verimini tanımlayan en iyi model olduğu bulundu ve iki yanıt için hesaplanan tüm modeller anlamlı bulundu ( $p < 0.0001$ ). TAC ve TPC değerlerinin sırasıyla 0.046 - 0.185 mmol TR / g DS, 0.303 - 0.722 mmol TR / g DS arasında değiştiği görülmüştür. En yüksek TAC ve TPC değerleri,  $X_1 = 90$  °C,  $X_2 = 6$  dak,  $X_3 = \% 21.7$  ve,  $X_4 = 0.21$  g / 20 mL deney koşulları altında elde edildi. Ekstraksiyon sıcaklığının, MAE'nin tüm operasyonel parametreleri arasında en önemli işletim faktörü olduğu bulundu. Optimum ekstraksiyon koşullarında, deneysel olarak elde edilen maksimum TAC ve TPC veriminin öngörülen değerlerine çok yakın olduğu bulundu, böylece kullanılan modelin uygunluğu ve RSM'nin ekstraksiyon koşullarını optimize etmedeki başarısı görülmektedir. Bu çalışmada optimize edilmiş MAE metodu, dulavratotundan antioksidanlarını etkin ve ekonomik bir şekilde ekstraksiyonu için gıda ve ilaç endüstrisinde uygulanabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Mikrodalga destekli ekstraksiyon, antioksidanlar, dulavrat otu, tepki yüzey metodolojisi.

## Modelling and Optimizing Microwave-Assisted Extraction of Antioxidants From Burdock (*Arctium Lappa*) Using Response Surface Methodology

### Abstract

Burdock (*Arctium lappa* L.) is a commercially an important plant often used in traditional medicine. The optimum operating conditions of microwave-assisted extraction (MAE) including temperature ( $X_1$ ), extraction time ( $X_2$ ), solvent concentration ( $X_3$ ) and solid to solvent ratio ( $X_4$ ) were ascertained by employing response surface methodology (RSM). The total antioxidant capacity and total phenolic content of burdock leaves extracts were investigated by CUPRAC and Folin assays respectively. A second-order polynomial model was found to be the best model that describes TAC and TPC of yield, and all models calculated for the two responses were found significant ( $p < 0.0001$ ). It was observed that the values of TAC and TPC varied between 0.046 – 0.185 mmol TR / g DS, 0.303 - 0.722 mmol TR / g DS, respectively. The highest TAC and TPC values was obtained under the experimental conditions

\* Sorumlu Yazar: İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0003-4555-2434, [burcubek@istanbul.edu.tr](mailto:burcubek@istanbul.edu.tr)

of  $X_1 = 90$  °C,  $X_2 = 6$  min,  $X_3 = 21.7$  % and,  $X_4 = 0.21$  g /20 mL. The extraction temperature was found to be the most significant operating factor amongst all operational parameters of MAE. At optimum extraction conditions, the maximum yield of TAC and TPC obtained experimentally were found to be very close to their predicted values as a result the suitability of the model used, and the success of RSM in optimizing the extraction conditions were demonstrated. MAE method optimized in this study can be applied for effectively and economically extract antioxidants from burdock in food and pharmaceutical industries.

**Keywords:** Microwave-assisted extraction, antioxidants, burdock, response surface methodology.

## 1. Introduction

Burdock (*Arctium lappa*) is an edible plant from a member of the *Asteraceae* family. Burdock commonly used as a traditional medicinal plant because of its beneficial effects related to inflammatory disorders such as arteriosclerosis, gout, hepatitis. Burdock has anti – inflammatory, anti-mutagenic, anti-aging properties due to its rich antioxidant content (Chen et al 2004). Ionescu et al (2013) investigated the antimicrobial activity of some hydroalcoholic extracts of burdock and reported its antimicrobial activity against the bacterial strains of *Escherichia coli* and *Salmonella*. Ferracane et al (2010) analyzed the bioactive metabolic profile of burdock seeds, leaves and roots by liquid chromatography coupled to electrospray tandem mass spectrometry. Caffeic acid, arctiin, chlorogenic acid, cynarin, luteolin and quercitrin were found in burdock extracted through sonication at room temperature for 30 min. In another study, Lou et al (2010) performed UPLC- MS/MS analysis of burdock leaves and detect ten different active compounds such as luteolin, caffeic acid, rutin, benzoic acid, quercetin, quercitrin, chlorogenic acid, cynarin, p-coumaric and arctiin. In literature, several studies have been investigated the total phenolic content and free radical scavenging activity of different parts of burdock (roots, leaves and seeds) by using varied extraction techniques. Rodriguez et al (2018) determined composition and antioxidant activity of burdock root extracts by using classical extraction and supercritical fluid extraction. Jimenez-Zamora et al (2016) determined the antioxidant capacity and total phenolic content of 36 plants including burdock consumed in Spain as infusion. Lin et al (1996) determined the hydroxyl and superoxide radical scavenging activity of burdock extract by using an electron spin resonance spectrometer. Milani et al (2011) optimized conventional and ultrasound-assisted extraction of inulin from burdock root using response surface methodology.

RSM is a statistical analysis of data for evaluate multiple parameters and their interactions. Thus, the optimization of processing parameters can be easily achieved, keeping the number of experiments to a minimum (Sun et al 2014). As far as is known, optimization of microwave - assisted extraction of antioxidant compounds from burdock using RSM has not been studied in the literature.

In this study, preparation of burdock leaves extracts for analysis was performed using MAE, which has distinct advantages over conventional extraction methods. MAE reduced extraction time and solvent volume as compared to conventional extraction method. The reproducibility and recovery parameters are better compared to the classical extraction method. Moreover, this method is highly suitable for the extraction of small molecule phenolic compounds such as phenolic acids, quercetin, isoflavin and resveratrol since these molecules are stable at microwave heating conditions up to 100° C for 20 minutes (Azwanida 2015). The maximum extraction yield was obtained by optimization of operational parameters affecting extraction efficiency such as time and temperature using RSM.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Reagent and Chemicals

Chemical substances including neocuproine, methanol, ethanol, and Folin - Ciocalteu reagent copper (II) chloride, ammonium acetate, sodium potassium tartarate ( $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ ), copper (II) sulfate, sodium hydroxide and sodium carbonate were of analytical reagent grade, and obtained from the Merck (Darmstadt, Germany). Burdock (*arctium lappa*) was purchased from a commercial herb seller (Arifoğlu, Istanbul, Turkey). The burdock leaves was milled into uniform dry powder by grinder and stored at 4 °C.

### 2.2. Instrumentation

ETHOS - One (Milestone) extraction system was used to extraction of burdock leaves. UV - visible spectra and absorption measurements were achieved by using Varian CARY 100 UV - Vis spectrophotometer. The MAE of antioxidants from burdock leaves was modelled and optimized by using Design-Expert® Software Version 11 Trial.

### 2.3. Microwave - Assisted Extraction of Burdock

Thirty experimental MAE runs were carried out on different temperatures (50 -100 °C), solvent concentration (ethanol % in water), extraction time (1 - 10 min) and solid to solvent ratio (g/ 20mL). In each experimental run, varying quantities sample (0.1-0.4 g) was mixed with varying quantities 20 mL aqueous ethanol solution (0 %, 50 % , 100 % (v / v)) in an inner vessel. The microwave power (500 - 1500 W) was automatically controlled by a system in the oven according to temperature in of the oven. Extraction of antioxidants from burdock leaves under optimal experimental conditions was performed with using MAE system as follows: 0.21 g of burdock leaves in 20 mL of 21.7 % aqueous ethanol solutions were added to the Teflon vessel. Burdock leaves sample in solvent was irradiated with microwaves 3 min for heating to the 90 °C and, kept there for 6.0 min, and 5 min for cooling. The extracts cooled to room temperature were filtered through 0.45 micron membrane filters. The extracts preserved in a refrigerator until use. Three replicate extractions were obtained from the burdock leaves and spectrophotometric measurements of each extract were repeated three times.

## 2.4. Determination of Total Phenolic Content (TPC)

Folin-Ciocalteu assay was applied to determine TPC values of the burdock leaves extract (Singleton et al 1999). The reagents which were used in Folin - Ciocalteu assay were as follow: Lowry C reagent was freshly prepared as mixture of 50 mL Lowry A solution (2 %  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  in 0.1 M NaOH) and 1 mL Lowry B solution (0.5 %  $\text{CuSO}_4$  in 1%  $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ ). 2.5 mL of Lowry C solution,  $x$   $\mu\text{L}$  of the burdock leaves extract, and  $(1 - x)$  mL  $\text{H}_2\text{O}$  were added in a test tube and allowed to stand at room temperature for ten minutes. Finally 0.25 mL of Folin reagent was added, and absorbance was measured at 750 nm after 30 min.

## 2.5. Determination of Total Antioxidant Capacity (TAC)

CUPRAC assay was applied to determine TAC values of the burdock leaves (Apak et al 2004). 1 mL each of  $\text{CuCl}_2$  (10 mM), neocuproine (7.5 mM), pH = 7 ammonium acetate solution (1 M) and  $x$  mL of the burdock leaves extract were added to test tube in this order. A cupric neocuproine complex (Cu (II) - Nc) was reduced to the cuprous chelate in the presence of burdock leaves extract. After 30 min. absorbance of the cuprous chelate was recorded at 450 nm.

## 2.6. Experimental Design

Optimizing microwave-assiated extraction of antioxidants from burdock was achieve by using a face - centered composite design (FCCD) which was applied to the independent parameters. According to equation 1;  $Y$  is the dependent variables (response),  $\beta_0$  is an intercept term,  $k$  is the factor number,  $X$  is the independent variable and  $\varepsilon$  is experimental error.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=2}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad \text{Eq. (1)}$$

In this study, the dependent variables ( $Y$ ) identify as TPC and TAC, the factor number is 4 ( $k$ ) and independent variables ( $X$ ) identify as  $X_1$ : temperature,  $X_2$ : time  $X_3$ : ethanol concentration,  $X_4$ : solid to solvent ratio. The experimental data indicated that the most suitable model was determined as second order polynomial model for define the values of TPC and TAC as a function of independent variables. The relation between the independent variables and response using Design-Expert program was identified by analysis of ANOVA test.

## 3. Results and Discussion

According to the proposed design, thirty experiments were performed and the experimental values TAC and TPC obtained are shown in Table 1. It was observed that the values of TAC and TPC varied between 0.046 – 0.185 mmol TR / g DS, 0.303 - 0.722 mmol TR / g DS, respectively.

Table 1. FCCD Layout and Experimental Data

Run No	Factors				Response	
	Temperature (°C)	Time (min)	Ethanol concentration (%v/v)	Solid to solvent ratio (g/20 mL)	TAC (mmol TR / g DS)	TPC (mmol TR / g DS)
1	75	4	50	0.25	0.154	0.702
2	75	4	50	0.40	0.165	0.718
3	75	4	50	0.25	0.149	0.675
4	75	4	20	0.25	0.197	0.738
5	75	4	50	0.25	0.145	0.694
6	50	7	20	0.1	0.095	0.482
7	100	7	20	0.1	0.185	0.722
8	100	7	20	0.4	0.178	0.723
9	50	1	20	0.1	0.084	0.45
10	75	1	50	0.25	0.165	0.722
11	100	1	20	0.4	0.171	0.712
12	50	7	20	0.4	0.075	0.411
13	50	1	20	0.4	0.069	0.396
14	50	7	80	0.1	0.065	0.391
15	75	4	50	0.25	0.152	0.699
16	50	1	80	0.4	0.046	0.303
17	50	4	50	0.25	0.093	0.488
18	100	7	80	0.1	0.162	0.708
19	75	4	80	0.25	0.135	0.687
20	75	7	50	0.25	0.181	0.719
21	50	7	80	0.4	0.047	0.328
22	100	1	80	0.1	0.154	0.708
23	100	1	80	0.4	0.143	0.701
24	100	4	50	0.25	0.167	0.717
25	75	4	50	0.25	0.147	0.708
26	50	1	80	0.1	0.055	0.358
27	75	4	50	0.25	0.159	0.713
28	100	7	80	0.4	0.148	0.704
29	75	4	50	0.1	0.145	0.709
30	100	1	20	0.1	0.171	0.716

To predict the yield of TAC and TPC a second - order polynomial model was generated by using a multiple nonlinear regression analysis of the experimental data. The adapted quadratic models for TAC and TPC are given in Eqs. (2) – (3), respectively.

$$\text{TAC} = - 0.300759 + 0.010473X_1 - 0.003319X_2 - 0.000437X_3 + 0.212680X_4 + 0.000005X_1X_2 + 0.000001X_1X_3 + 0.000500X_1X_4 - 0.00000972X_2X_3 - 0.00333X_2X_4 - 0.000139X_3X_4 - 0.000059X_1^2 + 0.000713X_2^2 - 0.00000064X_3^2 - 0.514620X_4^2 \quad \text{Eq. (2)}$$

$$\text{TPC} = - 0.769553 + 0.034239X_1 + 0.014332X_2 - 0.001115X_3 - 0.060750X_4 - 0.000071X_1X_2 + 0.000026X_1X_3 + 0.003817X_1X_4 - 0.00000208X_2X_3 - 0.002361X_2X_4 - 0.000014X_3X_4 - 0.000200X_1^2 - 0.000758X_2^2 - 0.000016X_3^2 - 0.614425X_4^2 \quad \text{Eq. (3)}$$

The temperature was found to be the most significant operating factor on the extraction efficiency amongst the other factors due to its the highest F-value (751.65) and the smaller p-value (< 0.0001). Table 2 shows results of the analysis of variance (ANOVA) which demonstrated the significance and adequacy of developed quadratic models for TAC and TPC. All of the models were found meaningful and adequate to show the correlation between the response and parameters with low p-value (< 0.0001 for TAC and TPC) from the ANOVA. The determination coefficient ( $R^2$ ) showing the model's compatibility with the experimental data and the adjusted determination coefficient (Adj.  $R^2$ ) were compatible with each other (the difference is less than 0.2). The predicted  $R^2$  of 0.8569 and 0.9515 reasonably agree with the adjusted  $R^2$  of 0.9244 and 0.9735 for TAC and TPC, respectively. The adequate precision which evaluate the signal to noise ratio and is desired to be greater than 4 were found to be 16.032 and 25.278 for TAC and TPC, respectively.

Table 2. ANOVA for the Effect of Independent Variables on the Yield of TAC and TPC Using a Quadratic Response Surface Model

Source	TPC			TAC		
	Model	Lack of fit	Pure error	Model	Lack of fit	Pure error
Degree of freedom	14	10	5	14	10	5
Sum of squares	0.6282	0.0078	0.0009	0.0573	0.0022	0.0001
Mean square	0.0449	0.0008	0.0002	0.0041	0.0002	0.0003
F value	77.22	4.42		26.33	8.47	
P value	< 0.0001	0.0573		< 0.0001	0.0147	

The 3D response surface plots as a function of temperature shown in Figures 1 - 3 demonstrate the effect of parameters on TAC and TPC values. In the literature, the antioxidant activity of burdock extracts were determined by using different solvents such as water, ethanol, methanol, chloroform and n-hexane (Duh 1998). Among the solvents used for extraction, water showed the strongest antioxidant activity compared to extracts prepared with other solvents. In this study the ethanol - water binary solvent mixture preferred as an extraction solvent for the extraction process due to its health compatibility, environmentally suitability and low cost.

The usage of aqueous mixtures of alcohols as solvents for the extraction of antioxidants is also known to be more effective than the corresponding single component solvent system and improves the extraction rate (Spingo et al 2007, Alonso et al 1991). Simic et al. (2016) emphasized that ethanol-water binary solvent mixture is widely used for pharmaceutical and food production due to its low toxicity, environmentally suitability, high extraction yield and health compatibility. Also as shown in Figure 1, the yields of TAC and TPC increased when ethanol percentage in water decreased up to a certain value. 21.17 % ethanol concentration showed the greatest efficiency in the extraction of antioxidants from efficiency burdock leaves.

Among the studied extraction parameters, time and solid to solvent ratio had the lowest impact on the yields of TAC and TPC. Figure 2 shows that there was no significant change on the yield of TAC and TPC with increasing solid to solvent ratio. The yields of TAC and TPC increased slightly with solid to solvent ratio up to 0.21 g/20 mL solvent. The decrease in the extraction yield after a certain solid to solvent ratio is proper with the basis of mass transfer because when a lower solid to solvent ratio is used, the pushing force is expected to be higher (İlbay et al 2014).

In general, prolonged extraction times increase the extraction efficiency of bioactive compounds because of time required for the solvent to penetrate the solid sample, dissolve the soluble components in the sample, and release the solvent from the sample with the dissolved components (Gan and Latiff 2011, Lee et al 2006, Fan et al 2008). However, long extraction times are not economically feasible and need to be optimized. In this study, it was observed that there was no significant change in the efficiency of TAC and TPC with increasing extraction time (Figure 3) and the extraction time of 6 minutes was sufficient for maximum extraction efficiency. The extraction time of 6 minutes was sufficient for getting the maximum yield of TAC and TPC.

The most important parameters that need to be optimized to reduce the energy cost of the extraction process are temperature and time (Spingo et al 2007). The continuous increase in TAC and TPC values of the extracts as a function of temperature can be seen from Figures 1-3. This can be clarified by the enhancing the solubility of solute and the diffusion coefficient with increase of temperature as mentioned in many studies (Shi et al 2003). In this study, it was observed that the highest efficiency for the extraction of antioxidants from burdock leaves in the range of 80 - 90 °C. In order to prevent structural degradation of phenolics, optimization studies were performed at maximum 100 degrees Celsius (Spingo et al 2007, Dent et al 2013, Naczek et al 2004).



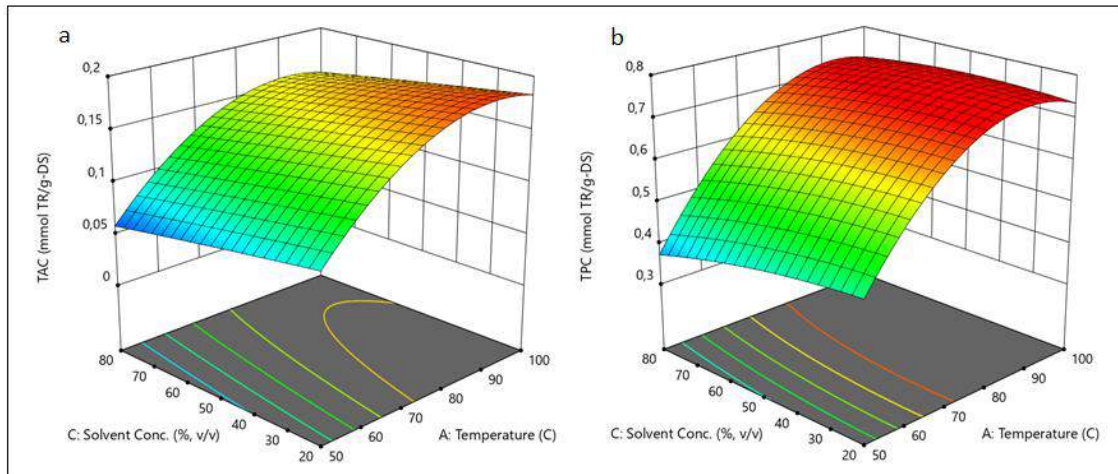


Figure 1. The 3D Surface Plot for the (a) TAC and (b) TPC of the Burdock Leaves Extract As A Function of Temperature To Solvent Concentration (Solid to solvent ratio = 0.25 g / 20 mL and extraction time = 4 min)

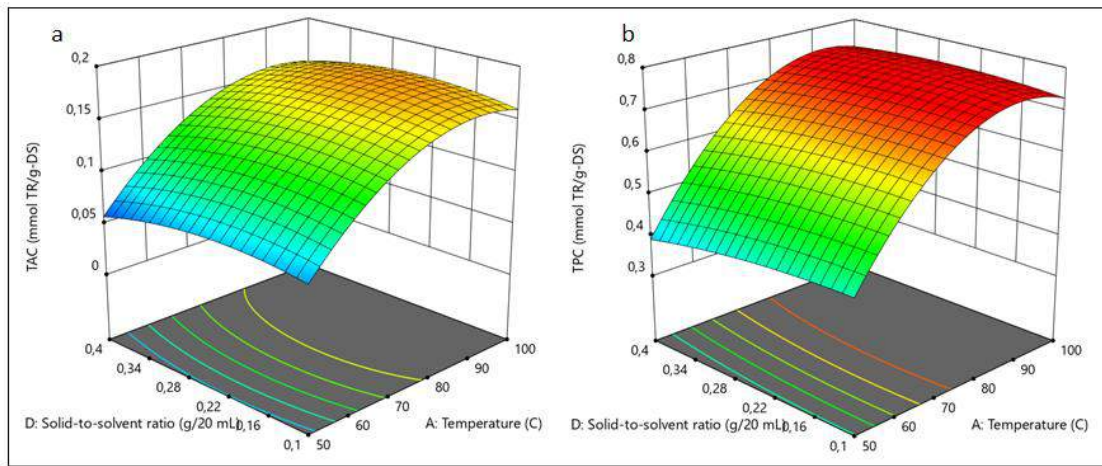


Figure 2. The 3D Surface Plot for the (a) TAC and (b) TPC of the Burdock Leaves Extract As A Function Of Temperature To Solid To Solvent Ratio (Solvent concentration= 50 % and extraction time = 4 min)

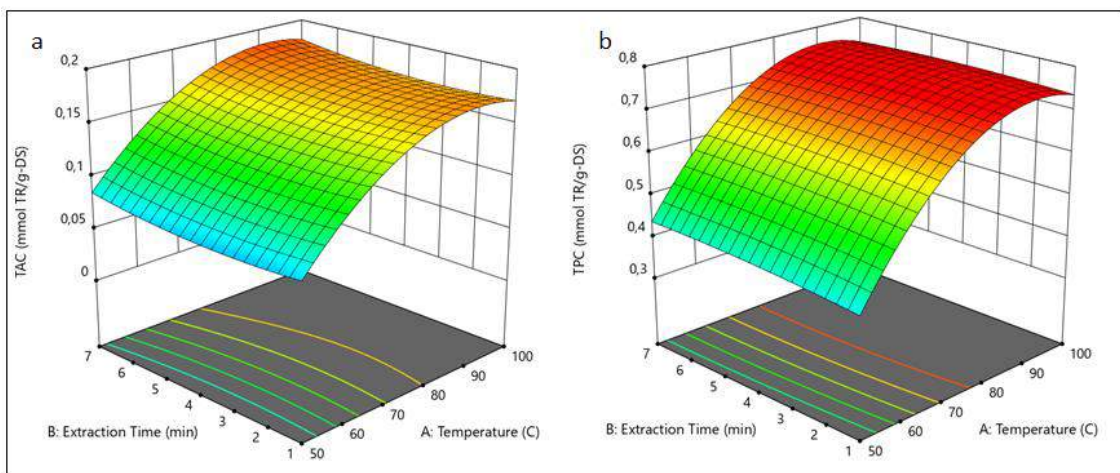


Figure 3. The 3D Surface Plot for the (a) TAC and (b) TPC of the Burdock Leaves Extract As A Function of Temperature to Extraction time (Solvent concentration= 50 % and solid to solvent ratio = 0.25 g / 20 mL)

The optimum MAE conditions for the highest yields of TAC (0.197 mmol TR / g - DS) and TPC (0.722 mmol TR / g - DS) were obtained as follows: 21 % ethanol aqueous solution (v / v), 90 °C, 6.0 min, and 0.21 g/20 mL. The predicted values are compatible with experimental values obtained at optimum extraction conditions. The predicted values for TAC and TPC were calculated as 0.194

mmol TR / g – DS and 0.75 mmol TR / g – DS, respectively. As a result, the design model was considered to be reliable and accurate for determining TAC and TPC of burdock leaves extracts obtained using microwave assisted extraction.

## 4. Conclusion

Modelling and optimizing microwave-assisted extraction of antioxidants from burdock (*arctium lappa*) using response surface methodology is the first time in the literature. Response surface methodology was successfully used for the design of experiments, modeling and optimization of the extraction of antioxidant compounds which is the most important step in the determination of the antioxidant capacity of burdock. The optimum extraction conditions for getting the maximum yield of TAC and TPC were determined. The extraction temperature was found to be the most significant operating factor on the MAE of antioxidants from burdock.

These experimental conditions allow a fast, quantitative and maximum extraction of antioxidants from burdock. MAE method optimized in this study can be an important alternative method which can be applied for effectively and economically extract antioxidants from burdock in food and pharmaceutical industries in the future.

## Acknowledgments

The author expresses their gratitude to Istanbul University-Cerrahpasa Food Antioxidants Measurement Application & Research Center (Gıda Antioksidanları Olcumu Uygulama ve Arastırma Merkezi) for providing its research infrastructures.

## References

- Alonso E., Bourzeix M., Revilla E. (1991) Suitability of water/ ethanol mixtures for the extraction of catechins and proanthocyanidins from *Vitis vinifera* seeds contained in a winery by-product. *Seed Science and Technology*, 19, 542-552.
- Apak R., Güçlü K., Özyürek M., Karademir S. E. (2004) Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their cupric ion reducing capability in the presence of neocuproine: CUPRAC method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 7970-7981. doi:10.1021/jf048741x
- Azwanida N. N. (2015) A Review on the extraction methods use in medicinal plants, principle, strength and limitation. *Medicinal & Aromatic Plants*, 4, 196-202. doi:10.4172/2167-0412.1000196
- Chen F., Wu A., Chen C. (2004) The influence of different treatments on the free radical scavenging activity of burdock and variations of its active components, *Food Chemistry*, 86, 479-484. doi: 10.1016/j.foodchem.2003.09.020
- Dent M., Dragović-Uzelac V., Penić M., Brnčić M., Bosiljkov T., Levaj B. (2013) The effect of extraction solvents, temperature and time on the composition and mass fraction of polyphenols in dalmatian wild sage (*Salvia officinalis* L.) extracts. *Food Technology and Biotechnology*, 51, 84-91.
- Duh P. (1998) Antioxidant activity of Burdock (*Arctium lappa* Linne): Its scavenging effect on free-radical and active oxygen. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 75, 455-461.
- Fan G., Han Y., Gu Z., Chen D. (2008) Optimizing conditions for anthocyanins extraction from purple sweet potato using response surface methodology (RSM). *LWT-Food Science and Technology*, 41, 155-160. doi: 10.1016/j.lwt.2007.01.019
- Ferracane R., Graziani G., Gallo M., Fogliano V., Ritieni A. (2010) Metabolic profile of the bioactive compounds of burdock (*Arctium lappa*) seeds, roots and leaves. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 51, 399-404. doi: 10.1016/j.jpba.2009.03.018
- Gan C. Y., Latiff A. A. (2011) Optimisation of the solvent extraction of bioactive compounds from *Parkia speciosa* pod using response surface methodology. *Food Chemistry*, 124, 1277-1283. doi: 10.1016/j.foodchem.2010.07.074
- Ionescu D., Predan G., Rizea G. D., Mihele D., Dune A., Ivopol G., Ioniță C. (2013) Antimicrobial activity of some hydroalcoholic extracts of artichoke (*Cynara Scolymus*), burdock (*Arctium Lappa*) and dandelion (*Taraxacum Officinale*). *Bulletin of the Transilvania University of Braşov*, 6, 114-120.
- İlbaş Z., Şahin S., Büyükkabasakal K. (2014) A novel approach for olive leaf extraction through ultrasound technology: Response surface methodology versus artificial neural networks. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 31, 1661-1667. doi: 10.1007/s11814-014-0106-3
- Jiménez-Zamora A., Delgado-Andrade C., Rufián-Henares J. A. (2016) Antioxidant capacity, total phenols and color profile during the storage of selected plants used for infusion. *Food Chemistry*, 199, 339-346. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.12.019
- Lee W., Yusof S., Hamid N., Baharin B. (2006) Optimizing conditions for hot water extraction of banana juice using response surface methodology (RSM). *Journal of Food Engineering*, 75, 473-479. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2005.04.062
- Lin C., Lin J., Yang J., Chuang S., Ujiie T. (1996) Anti-inflammatory and radical scavenge effects of *Arctium lappa*. *The American Journal of Chinese Medicine*, 24, 127-137. doi: 10.1142/S0192415X96000177

- Lou Z., Wang H., Zhu S., Zhang M., Gao Y., Ma C., Wang Z. (2010) Improved extraction and identification by ultra performance liquid chromatography tandem mass spectrometry of phenolic compounds in burdock leaves. *Journal of Chromatography A*, 1217, 2441-2446. doi:10.1016/j.chroma.2009.12.022
- Milani E., Koocheki A., Golimovahhed Q. A. (2011) Extraction of inulin from Burdock root (*Arctium lappa*) using high intensity ultrasound, *International Journal of Food Science and Technology*, 46, 1699-1704. doi: 10.1111/j.1365-2621.2011.02673.x
- Naczki M., Shahidi F. (2004) Extraction and analysis of phenolics in food. *Journal of Chromatography A*, 1054, 95-111. doi: 10.1016/j.chroma.2004.08.059
- Rodriguez J. M. F., Custódio de Souza A. R., Krüger R. L., Bombardelli M. C. M., Machado C. S., Corazza M. L. (2018) Kinetics, composition and antioxidant activity of burdock (*Arctium lappa*) root extracts obtained with supercritical CO<sub>2</sub> and co-solvent. *Journal of Supercritical Fluids*, 135, 25-33. doi: 10.1016/j.supflu.2017.12.034
- Shi J., Yu J., Pohorly J., Young C., Bryan M., Wu Y. (2003) Optimization of the extraction of polyphenols from grape seed meal by aqueous ethanol solution. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 1, 42-47.
- Simić V. M., Rajković K. M., Stojičević S. S., Veličković D. T., Nikolić N. Č., Lazić M. L., Karabegović I. T. (2016) Optimization of microwave-assisted extraction of total polyphenolic compounds from chokeberries by response surface methodology and artificial neural network. *Separation and Purification Technology*, 160, 89-97. doi: 10.1016/j.seppur.2016.01.019
- Singleton V. L., Orthofer R., Lamuela-Raventos R. M. (1999) Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin–Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152-178. doi:10.1016/S0076-6879(99)99017-1
- Spigno G., Tramelli L., De Faveri D. M. (2007) Effects of extraction time, temperature and solvent on concentration and antioxidant activity of grape marc phenolics. *Journal of Food Engineering*, 81, 200-208. doi:10.1016/j.jfoodeng.2006.10.021
- Sun Z., Su R., Qiao J., Zhao, Z. Wang, X. (2014) Flavonoids extraction from *Taraxacum officinale* (Dandelion): Optimisation using response surface methodology and antioxidant activity. *Journal of Chemistry*, 2014, 1-7. doi:10.1155/2014/956278



# Elmaslı Tel ile Mermer Üretiminde Basamak Geometrisinin Kesme Performansı Üzerine Etkileri

Mehmet Kürşat Dilmaç<sup>1\*</sup>, Kazım Görgülü<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Atatürk Üniversitesi, Oltu Yer Bilimleri Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1212-6527)

<sup>2</sup> Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3246-3838)

(İlk Geliş Tarihi 10 Ekim 2019 ve Kabul Tarihi 6 Kasım 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.631778)

**ATIF/REFERENCE:** Dilmaç, M.K., & Görgülü, K. (2019). Elmaslı Tel ile Mermer Üretiminde Basamak Geometrisinin Kesme Performansı Üzerine Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 663-675.

## Öz

Elmaslı tel kesme metodu blok mermer üretiminde yaygın olarak kullanılan bir yöntem olup, yöntemin başarısı kesme kapasitesi ve elmaslı boncuklarda oluşan aşınmalara bağlıdır. Kesme kapasitesi ve elmaslı boncuk aşınmasını en çok etkileyen faktörlerden biri de ocak basamak geometrisidir. Bu çalışma elmaslı tel ile mermer üretiminde basamak geometrisinin kesme performansı üzerine etkilerinin ayrıntılı olarak incelenmesi amacıyla iki farklı mermer işletmesinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonuçları mermer işletmelerinde kesme yüksekliği/kesme genişliği oranı (h/l) arttıkça saatlik kesme kapasitesinin azaldığını, kesilen alan ile saatlik kesme kapasitesi arasında üssel (polinom) ilişkiler olduğunu, uygun basamak geometrisinin seçiminde elmaslı boncuklarda meydana gelen aşınmaların etkili olduğunu ortaya koymuştur. Ölçülen kesme kapasitesi ve elmaslı boncuk aşınma oranlarının tahmini için Yapay Sinir Ağları (YSA) modelleri kullanılmıştır. Yapay Sinir Ağları (YSA) ile yapılan modellerde tahmin edilen ve ölçülen kesme kapasitesi ve elmaslı boncuk aşınma değerleri arasında oldukça yüksek korelasyon katsayıları elde edilmiştir ( $R^2 = 0,92-0,94$ ).

**Anahtar Kelimeler:** Mermer, Elmaslı Tel Kesme, Kesme Kapasitesi, Basamak Geometrisi, Aşınma Oranı.

## Effects of Bench Geometry on Cutting Performance of Marble Production With Diamond Wire

### Abstract

Diamond wire cutting method is a commonly used method in block marble production. The success of this method depends on the cutting capacity and level of wear present in the diamond beads. Bench geometry is one of the most influential factors in cutting capacity and diamond bead wear. For this purpose, necessary measurements were made in Emmioğlu Inc. Amasya beige quarry and Özmersan Inc. Sivas yellow travertine quarry and the results of these measurements were evaluated to determine the effects of bench geometry on diamond wire cutting performance. The results indicated that as bench height/panel width (h/l) ratio increased, cutting capacity decreased; there were exponential relationships between the cutting area, hourly cutting capacity and the level of wear in the diamond beads-which were all affected by the bench geometry selection. Artificial Neural Network (ANN) models were used to predict cutting capacity and diamond bead wear. The estimation with ANN analysis gives high correlation coefficients ( $R^2=0,92-0,94$ ) between the predicted and measured cutting capacity and the diamond bead wear values.

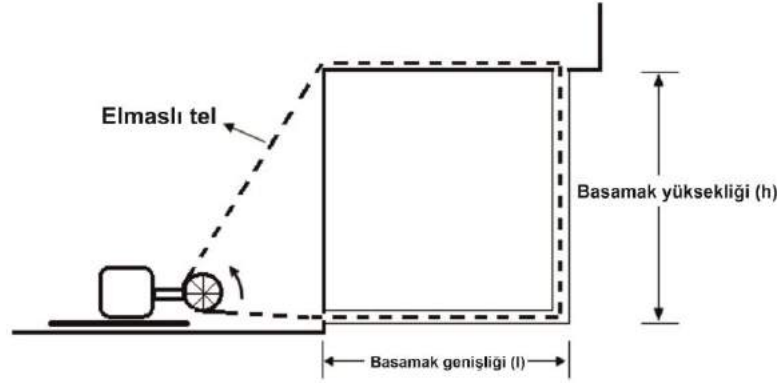
**Keywords:** Marble, Diamond Wire Cutting, Cutting Capacity, Bench Geometry, Wear Rate.

\* Sorumlu Yazar: Atatürk Üniversitesi, Oltu Yer Bilimleri Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye, ORCID: 0000-0003-1212-6527, [mkdilmac@gmail.com](mailto:mkdilmac@gmail.com)



## 1. Giriş

Blok mermer üretimi; mermerin ana kayadan koparılarak piyasada istenilen boyutlara indirilmesi şeklinde gerçekleşmektedir. Bu amaçla çok eski devirlerden bu yana farklı araçlar ve yöntemler kullanılmıştır. Bu kapsamda en fazla uygulama alanı bulmuş yöntemlerden biri de elmaslı tel ile blok mermer üretimidir (Şekil 1). Elmaslı tel ile mermer üretim yöntemi, üzerinde elmaslı boncuklar dizili olan ve kesim yapılacak yüzey etrafında sonsuz bir halka oluşturan telin bir tahrik ünitesi yardımıyla belirli bir devirde döndürülmesi ve uygulanan gerilme ile taşa sürttürülmesi sonucu kesmesi esasına dayanmaktadır. Elmaslı tel ile kesme yöntemi ilk kez 70'li yıllarda mermer fabrikalarında blokların boyutlandırılmasında kullanılmıştır (Mannoni ve Mannoni, 1984). Bunun devamında yöntem, mermer ocaklarında üretim için denenmiş ve kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. Günümüzde, blok mermer sektörü dışında tren yolu köprüleri, eski binalar, baraj bentleri ve eski beton bacaların imhasında yöntem başarı ile uygulanmaktadır. (Werland, 1990; Hayes 1990; Beckman ve Hulick, 1991; Özçelik, 1999; Demirdağ, 2001, Tönshoff ve Hillmann-Apmann, 2002).



Şekil 1. Elmaslı tel kesme makinesi

Elmaslı tel kesme makinesinin blok mermer üretiminde ilk uygulaması Carrara bölgesinde düşey kesim uygulamalarında olmuştur (Conti, 1986). Elmaslı boncukların kayaç özelliklerine bağlı olarak düzenlenmesiyle yöntem yumuşaktan serte farklı tür kayaçların üretiminde başarı ile kullanılmıştır.

Blok mermer üretim teknolojilerindeki gelişmelere bağlı olarak farklı ocak işletmelerinde değişik basamak geometrileri ortaya çıkmıştır. Ocak planlamasının yapılması ve maliyetlerin tahmini için mermer işletmelerinde kullanılan üretim yöntemlerinde kesme performansının ve verimliliğinin incelenmesi oldukça önem kazanmıştır. Elmaslı tel ile mermer üretiminde kesme performansını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bunlar; makine gücü, makinenin elmaslı tele uyguladığı çekme kuvveti, elmaslı telin çevresel hızı, elmaslı tel ve elmaslı boncuk yapısı, kesim tipi, basamak geometrisi gibi çalışma parametreleri ile mineraloji, doku, sertlik, mukavemet vb. gibi fiziksel ve mekanik kayaç parametreleridir. Kesme performansını etkileyen diğer faktörlerin yanında en önemli faktörlerden biri ocak basamak geometrisidir (Berry vd., 1989; Bortolussi vd., 1990-1994; Görgülü, 1994; Tönshoff ve Asche, 1997; Özçelik, 1999, Özçelik vd. 2002; Jain ve Rathore, 2009). Genel olarak basamak geometrilerini bazen saha koşulları, bazen de kullanılan üretim makinelerinin kapasitesi belirlemektedir.

Berry vd. (1989), traverten ve Carrara mermeri üzerinde yaptıkları çalışmada, kesme kapasitesi ( $m^2/sa$ ) ile basamak yüksekliğinin ( $h$ ) basamak genişliğine ( $l$ ) oranı ( $h/l$ ) arasında bir ilişki olduğunu, bu oranın artmasına bağlı olarak kesme hızının azalan bir davranış gösterdiğini ifade etmişlerdir. Cai ve Mancini (1989), Capuzzi (1989) ve Bortolussi vd. (1990, 1994), blok üretiminde boncuk aşınmasının toplam maliyetin yaklaşık % 50'sini oluşturduğunu belirtmişlerdir. Gerek elmaslı tane tarafından kayaçtan parça kopararak kesilmesi, gerekse kayaç ve kesim sonucu oluşan talaş tarafından elmaslı tane ve matriksinde oluşan aşınma kesim boyunca oluşan mekanik ve termal yüklere bağlıdır. Bu yükler ise makine tarafından elmaslı tel halata uygulanan gerilme ve basamak geometrisine göre şekillenmektedir (Tönshoff ve Asche, 1997).

Tönshoff ve Asche (1997), kayacın kesiminde elmaslı boncuk ve kayaç arasındaki mekanik ilişkinin kesim sırasında kayaçta oluşan elastik ve plastik deformasyon, kayaç ile elmas taneleri arasındaki sürtünme, kayaç ile matriks arasındaki sürtünme ve kesilmiş malzeme ile matriks arasındaki sürtünme gibi faktörlerden meydana geldiğini ifade etmektedirler. Ayrıca elmaslı boncuğun aşınma şartlarının, boncuğun kesme kabiliyeti ve sağlamlığı üzerinde önemli bir etkisi vardır. Elmasın uç keskinliğinin korumak, düzenli kesim performansı elde etmek için değişmez bir faktördür (Tönshoff ve Asche, 1997).

Özçelik (1999), Çubuk andezit sahasında elmaslı tel kesme kapasiteleri ve elmaslı boncuk aşınma oranlarını belirlemek amacıyla yaptığı çalışmada en yüksek saatlik kesme kapasitesine ve en düşük aşınma değerlerine kesilen alanın 60-65  $m^2$  aralığında olduğu durumlarda ulaşıldığını ifade etmiştir. Söz konusu çalışmanın verilerine göre kesilen alan artışına bağlı olarak boncuk aşınma oranı başlangıçta hızla azalan, alan değerinin 70  $m^2$ 'nin üzerine çıkması ile tekrar artan bir davranış sergilemiştir.

Jain ve Rathore (2009) yumuşak, orta sert ve sert olarak sınıflandırılmış üç farklı mermer birimi üzerinde yaptıkları çalışmada kesilen alan artışı ile kesme kapasitesinin başlangıçta artan, belli değerlerden sonra ise azalan üssel bir davranış gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Yazarlar yumuşak mermerler için 142-150  $m^2$ , orta sert mermerler için 135-145  $m^2$  ve sert mermerler için 125-135  $m^2$  arasında kesme kapasitesinin daha yüksek olduğunu, daha büyük alanlarda ise kesme kapasitesinin düşmeye başladığını ifade etmişlerdir. Jain ve Rathore (2009)'a göre üç mermer türü için de kesilen alan arttıkça elmaslı boncuk aşınma oranları ( $mm/m^2$ ) yaklaşık lineer olarak artmaktadır.

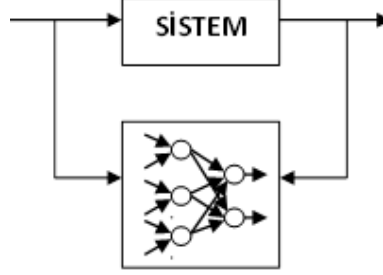


Bu çalışmada, elmaslı tel ile mermer üretiminde basamak geometrisinin kesme performansı üzerine etkilerinin ayrıntılı olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda iki farklı blok mermer ocağında ölçümler alınmış ve sonuçları değerlendirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Yapay Sinir Ağları ve Geri Yayılım Algoritması

Yapay Sinir Ağları (YSA), insan beynindeki sinir sistemine benzer bir yapıya ve işleyişe sahiptir. YSA öğrenme yeteneği ile karmaşık sistemlerin modellenmesinde etkili olarak kullanılabilir. Sistem dinamiğinin bir kısmının bilindiği ya da sistemin matematiksel modelinin çıkarılmasının oldukça zor veya imkânsız olduğu durumlarda, YSA sistem verileri ile eğitilerek sistemin modellenmesini sağlamaktadır (Lin ve Lee, 1996). Şekil 2’de bir sistemin YSA ile modellenmesi temsil edilmiştir.



Şekil 2. YSA'nın sistem verileri ile eğitilerek sistemin modellenmesi

#### 2.1.1. Geri Yayılım Algoritması

YSA'nın istenilen giriş-çıkış karakteristiğini ne kadar sağladığının bir ölçüsü olarak, YSA'nın çıkış katmanındaki her sinire ait hata sinyallerinin karelerinin toplamından oluşan bir uygunluk fonksiyonu tanımlanmıştır (Lin ve Lee, 1996). Eğitimin k'ıncı yinelemesinde YSA'nın çıkış katmanındaki i'inci sinirinin çıkış değeri  $y_i$ , bu sinirden verilen istenilen değer  $d_i$  ile gösterilirse, i sinirinin hata işareti:

$$e_i = d_i - y_i(k) \quad (1)$$

denklemler elde edilir. Uygunluk fonksiyonu da

$$E = \frac{1}{2} \sum_i e_i^2(k) = \frac{1}{2} \sum_i (d_i - y_i(k))^2 \quad (2)$$

denklemler ile ifade edilmektedir. Geri yayılım algoritmasının amacı uygunluk fonksiyonunu minimum yapmaktır. Uygunluk fonksiyonu YSA'nın ağırlık değerlerine bağlı olduğundan, algoritma YSA ağırlıklarının en uygun biçimde değiştirilmesi işlemlerinden oluşmaktadır. YSA'ndaki her  $w_{ij}$  ağırlık değerinin değişme miktarı; gradyan-alçalma (gradient-descent) yöntemi olarak adlandırılan denklem ile bulunmaktadır (Lin ve Lee, 1996).

$$\Delta w_{ij} = -\eta \frac{\partial E(\bar{w})}{\partial w_{ij}} \quad (3)$$

Burada  $\eta$  öğrenme katsayısıdır. Geri yayılım algoritmasında her yineleme, ileri yayılım ve geri yayılım olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. İleri yayılım aşamasında YSA'nın o andaki durumunda YSA'na uygulanan giriş işaretlerine karşı YSA'nın çıkışlarında oluşan değerler bulunur. Geri yayılım aşamasında, çıkışlarda oluşan hatalardan yola çıkılarak, devredeki ağırlıkların yeniden düzenlenmesi yapılmaktadır. YSA'daki her ağırlık değişimi;

$$\Delta w_{ij} = \eta \delta_j y_i \quad (4)$$

denklemler ile yapılmaktadır.  $\delta_j$ , çıkış katmanı sinirleri için;

$$\delta_j = e_j(k) f_j' \quad (5)$$

gizli katmanlarda bulunan sinirler için;

$$\delta_j = f_j' \sum_m \delta_m w_{mj} \quad (6)$$

$f_j$ , j sinirinin uyarma (aktivasyon) fonksiyonudur. Bu tanımlar ile hata işaretlerinin devrenin çıkışından girişine doğru akışı, ileri yayılım aşamasında işaretlerin ileri doğru akışına benzetilmiştir.

## 2.1. Saha Çalışmaları ve Değerlendirme

Saha çalışmaları, Emmioğlu A.Ş.'ye ait klasik bej ocağı (Amasya) (Şekil 3) ve Özmersan A.Ş.'ye ait sarı traverten ocağında (Sivas) (Şekil 4) sürdürülmüştür. Bej ocağında üretim yapılan basamakların yükseklikleri 3,5-9,3 m. arasındadır. Üretim yöntemi olarak elmaslı tel ve kollu kesici makine kombinasyonu kullanılmaktadır. Sarı traverten ocağında üretim yapılan basamakların yükseklikleri 5,1-9,4 m. arasında değişmektedir. Üretim elmaslı tel ile yapılmaktadır. Çalışma sahalarında basamak yüksekliklerinin oldukça değişken olması değişik kesme geometrilerinde çalışma olanağı sağlamıştır.



Şekil 3. Bej ocağının genel görünümü (Amasya)



Şekil 4. Sarı traverten ocağının genel görünümü (Sivas)

Çalışma sahalarındaki ölçümler aynı teknik özelliklere sahip kesme makinelerinde (Tablo 1) ve aynı çalışma koşulları altında (kasnak çapı, devir, akım, volt) gerçekleştirildiğinden basamak geometrisi dışındaki tüm çalışma değişkenlerinin sonuçları aynı oranda etkilediği kabul edilmiştir. Bu çalışmada sadece düşey kesimler incelenmiş ve sinterize elmaslı boncuğa sahip elmaslı teller kullanılmıştır.

Tablo 1. Elmaslı tel kesme makinesinin teknik özellikleri

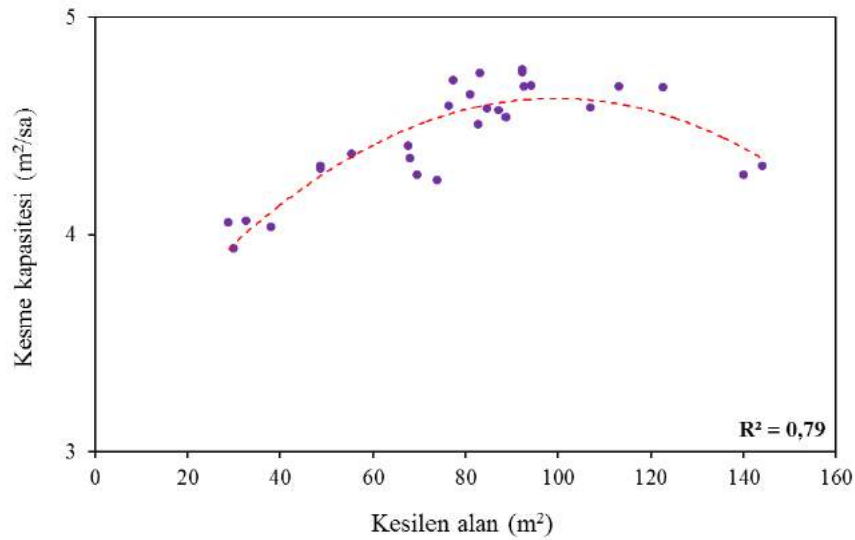
Parametre	Değer
Motor cinsi	Elektrikli
Ana motor gücü	37 kW
Dönüş	970 RPM
Gerilim	380 V
Gerdirme amperajı	55 A
Kasnak çapı	80 cm

Ölçümlere kesim yapılan basamaklarda kesme yüksekliği ve kesme derinliğinin belirlenmesi ile başlanmıştır. Kesim sırasında başlangıçtan bitişe kadar kronometraj tutulmuş, herhangi bir nedenle oluşan duraklamalar kaydedilmiş ve kesimde harcanan net süreler tespit edilmiştir. Elmaslı boncuklarda meydana gelen aşınma miktarını tespit etmek için elmaslı boncukların çapları kesim öncesi ve kesim sonrası Demirdağ (2001) tarafından önerildiği gibi ölçülmüş ve kesimler sırasında elmaslı boncuklarda meydana gelen aşınmalar belirlenmeye çalışılmıştır. Bej ve sarı traverten birimlerinin fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Çalışılan mermer birimlerinin fiziksel ve mekanik özellikleri

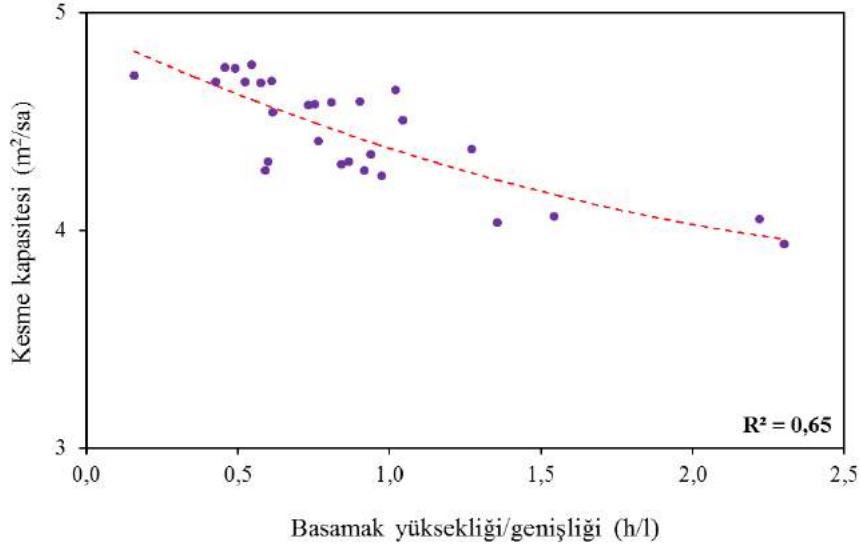
Özellikler	Bej	Sarı Traverten
Mineral tane yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> )	2,695	2,62
Toplam gözeneklilik (%)	0,195	10,918
Etkili gözeneklilik (%)	0,115	4,841
Atmosfer basıncında kütlece su emme (%)	0,227	2,149
Doluluk oranı (%)	99,8	89,082
Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)	91,6	51,29
Kohezyon (MPa)	19,84	19,16
İçsel sürtünme açısı (Derece)	49,73	26,14
Elastik modülü (GPa)	35,37	22,22
Poisson oranı	0,316	0,254
Eğilme dayanımı (MPa)	13,86	6,62
Dolaylı çekme dayanımı (Brazilian) (MPa)	7,27	1,34
Darbe dayanımı (ASTM) (kgf-cm/cm <sup>3</sup> )	3,44	7,9
Schmidt sertliği	61	55,7
Shore sertliği	69,88	51,7

Bej sahasında (Amasya) amaca uygun olarak ve aynı basamak geometrisinde en az iki ölçüm olacak şekilde 95 adet ölçüm yapılmıştır. Sonuçta 28 farklı kesme yüksekliği ve genişliğine sahip ölçüm elde edilmiştir. Bu ölçümlere göre kesme yüksekliğinin kesme genişliğine oranı (h/l) 0,16-2,31 aralığında değişmiştir. Ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde kesilen alan ile beklenmesiz saatlik kapasite değerleri arasında üssel bir ilişki olduğu görülmektedir (Şekil 5). Başlangıçta kesilen alanın büyüklüğü arttıkça kesme kapasitesi de artmıştır. Bu sahada kesilen alana göre en yüksek kesme kapasitesi değerlerine 75-125 m<sup>2</sup> alan aralığında ulaşılmıştır. Daha büyük alanların kesiminde ise kesme kapasitesi düşmeye başlamıştır.



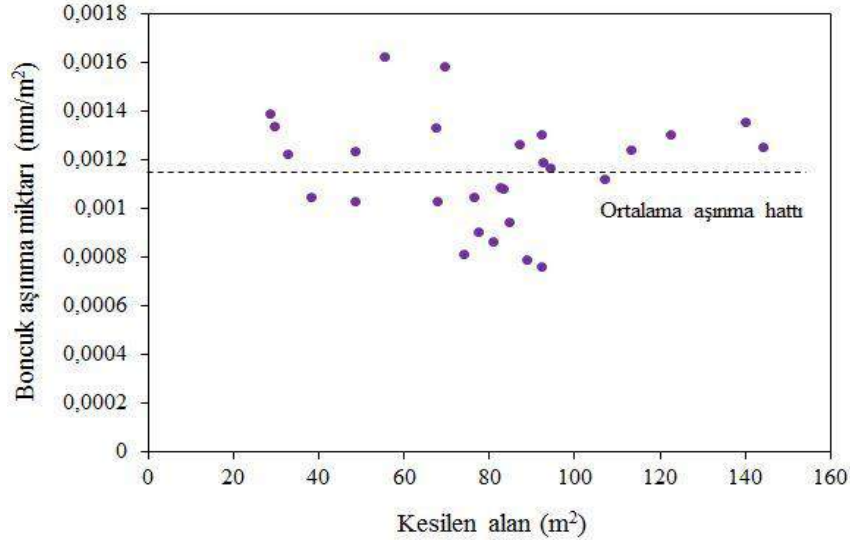
Şekil 5. Kesilen alan-kesme kapasitesi ilişkisi (Bej mermer)

Yine elde edilen verilerden hareketle kesme yüksekliğinin kesme genişliğine oranı (h/l) ile kesme kapasitesi arasındaki ilişki irdelenmiş ve bu oranın artması ile kesme kapasitesinin azaldığı belirlenmiştir. Bu ilişkide h/l oranının 0,16-0,6 değer aralığında en yüksek kesme kapasitesi değerlerine ulaşılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Basamak yüksekliği/genişliği-kesme kapasitesi ilişkisi (Bej mermer)

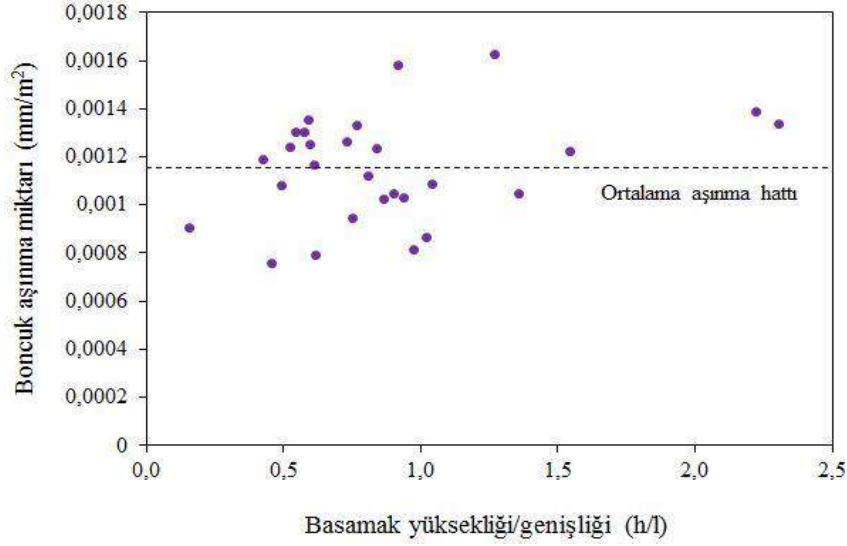
Kesme kapasitesi-kesilen alan ya da kesme kapasitesi-h/l oranı dikkate alındığında bu sahada 75-125 m<sup>2</sup> kesme alanı uygun gözükmemektedir. Ancak, elmaslı boncuklarda meydana gelen aşınma oranları da dikkate alındığında bu yaklaşımın uygun olmadığı söylenebilir.



Şekil 7. Kesilen alan-boncuk aşınma oranı ilişkisi (Bej mermer)

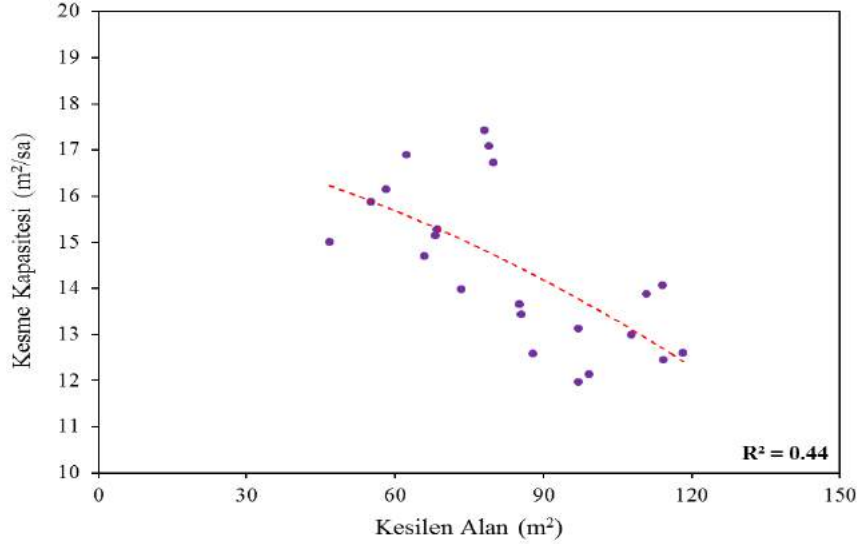
Şekil 7 ve 8'de görüldüğü gibi kesilen alan-boncuk aşınma oranı ile h/l-boncuk aşınma oranı arasında anlamlı ilişkiler yoktur. Bu sahada yapılan ölçümlerden elde edilen ortalama aşınma oranı 0,0011534 mm/m<sup>2</sup> olup ortalama aşınma hattı Şekil 7 ve 8 üzerinde gösterilmiştir. Şekil 7'ye göre 75-90 m<sup>2</sup>'lik alanlarda yapılan kesimlerde aşınma miktarlarının daha düşük olduğu açıkça görülmektedir. Şekil 8 değerlendirildiğinde ise ortalama aşınma hattının altında aşınma değeri veren alanların çoğunluğu 73-93 m<sup>2</sup> aralığına düşmekte, h/l oranı ise 0,16-1,1 aralığında yer almaktadır. Diğer yandan, h/l oranı 1'e doğru yaklaştıkça saatlik kesme kapasitesi düşmektedir.

Tüm bu değerlendirmeler ışığında bej sahası için h/l oranının 0,2-0,6 aralığında ve kesme alanının 75-90 m<sup>2</sup> civarında olması durumunda saatlik kesme kapasitesi ve boncuk aşınma değerleri açısından makul sonuçların elde edildiği söylenebilir.



Şekil 8. Basamak yüksekliği/genişliği-boncuk aşınma oranı ilişkisi (Bej mermer)

Sarı traverten sahasında (Sivas) amaca uygun olarak ve aynı basamak geometrisinde en az iki ölçüm olacak şekilde 74 adet ölçüm yapılmıştır. Sonuçta 22 farklı basamak geometrisinde ölçüm elde edilmiştir. Bu ölçümlerde kesme yüksekliğinin kesme genişliğine oranı (h/l) 0,26-0,97 aralığında değişmiştir (Şekil 10).



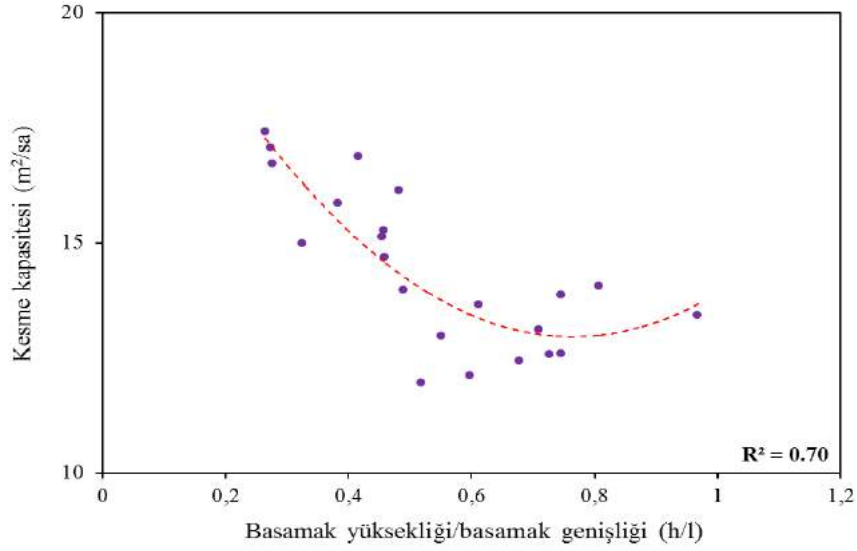
Şekil 9. Kesilen alan-kesme kapasitesi ilişkisi (Sarı traverten)

Bu sahada kesilen alana göre en yüksek kesme kapasitesi değerlerine 45-80 m<sup>2</sup> alan aralığında ulaşılmıştır. Daha büyük alanların kesiminde ise kesme kapasitesi daha düşük seviyelerde seyretmiştir (Şekil 9). Kesilen alan ile beklenmeyen saatlik kapasite değerleri arasında ikinci dereceden düşük korelasyonlu bir fonksiyonel ilişki olduğu görülmektedir (Şekil 9).

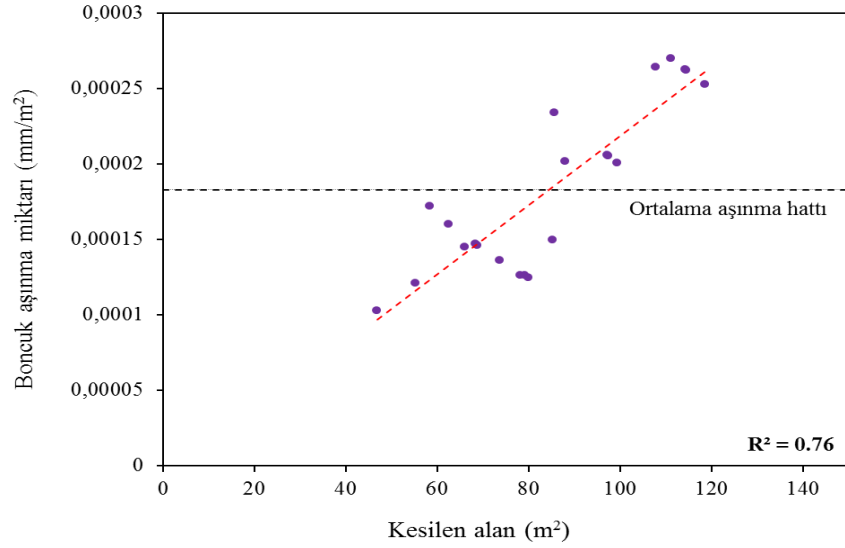
Elde edilen verilerden hareketle; kesme yüksekliğinin kesme genişliğine oranı (h/l) ile kesme kapasitesi arasındaki ilişki irdelenmiş ve bu oranın artması ile kesme kapasitesinin azaldığı belirlenmiştir. Bu ilişkide h/l oranının 0,26-0,5 olması durumunda en yüksek kesme kapasitesi değerlerine ulaşılmıştır (Şekil 10).

Sahada yapılan ölçümlerde Şekil 11 ve 12'de görüldüğü gibi kesilen alan-boncuk aşınma oranı ile h/l-boncuk aşınma oranı arasında lineer ilişkiler mevcuttur. Bu sahada yapılan ölçümlerden elde edilen ortalama aşınma oranı 0,000183 mm/m<sup>2</sup> olup ortalama aşınma hattı Şekil 11 ve 12 üzerinde gösterilmiştir. Saha ölçümlerinde ortalama aşınma hattının altında aşınma değeri veren alanların çoğunluğu 45-80 m<sup>2</sup> aralığına düşmekte; h/l oranı ise 0,26-0,5 aralığında yer almaktadır (Şekil 11-12).

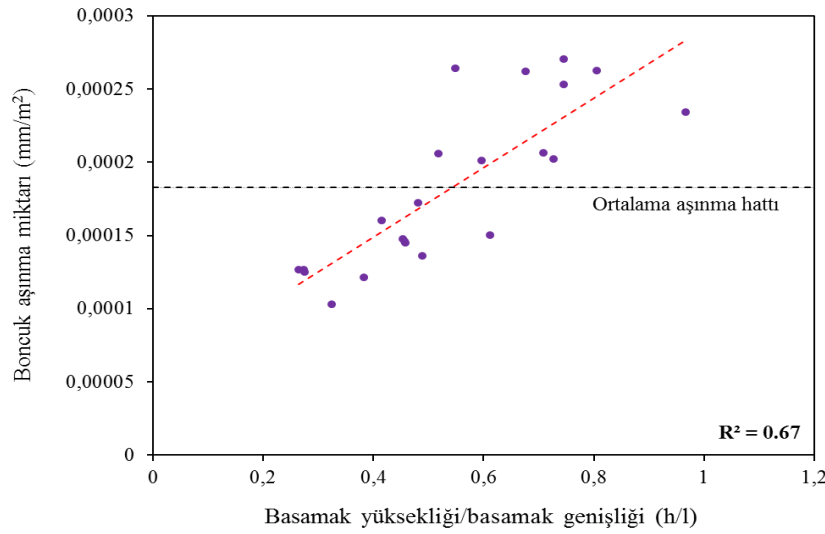




Şekil 10. Basamak yüksekliği/genişliği-kesme kapasitesi ilişkisi (Sarı traverten)



Şekil 11. Kesilen alan-boncuk aşınma oranı ilişkisi (Sarı traverten)

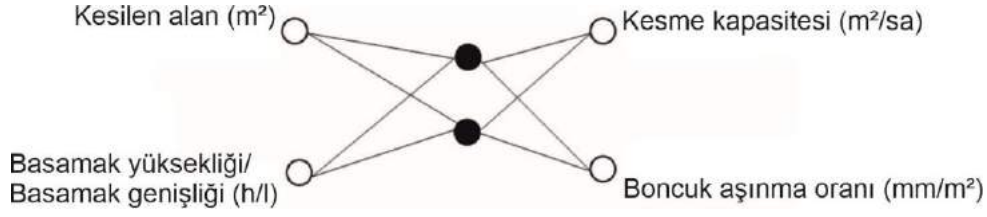


Şekil 12. Basamak yüksekliği/genişliği-boncuk aşınma oranı ilişkisi (Sarı traverten)

Söz konusu sahalarda elmaslı boncuklarda oluşacak aşınma ve kesme kapasitelerini tahmin etmeye yönelik olarak Yapay Sinir Ağları (YSA) ile modelleme çalışmaları yapılmıştır. Öncelikle Yapay Sinir Ağları için uygun olan model seçilmiş ve farklı ağ modelleri üzerinde değişik eğitim algoritmaları kullanılmış ve bunlara ait parametreler değiştirilmek suretiyle her model ve eğitim algoritması için denemeler yapılmıştır. Kurulan modeller tek ve iki gizli katmanlı yapılar olarak değişik düğüm sayılarında

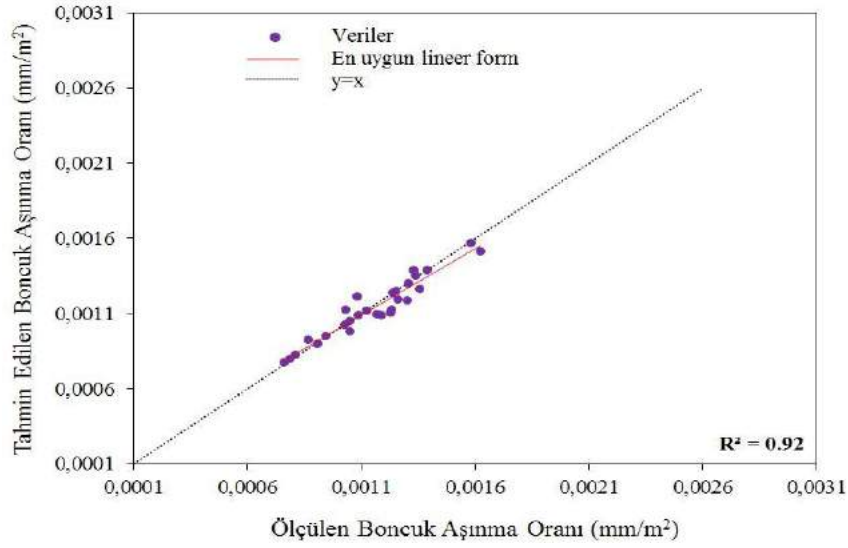
e-ISSN: 2148-2683

oluşturulmuştur. Oluşturulan model denemelerinde bir katmanlı, gizli nöron sayısı 10, giriş sayısı 2, çıkış sayısı 2 ve 0,01 toplam hata değeri olarak değerleri sabit olarak seçilmiştir (Şekil 13). Elmaslı boncuklarda meydana gelen aşınma ve elmaslı tel kesme kapasitesi değerlerinin tahmini için Yapay Sinir Ağları ile oluşturulan modele verilen giriş parametreleri kesilen alan ve basamak yüksekliği/basamak genişliği (h/l) oranı verilerine dayandırılmıştır.

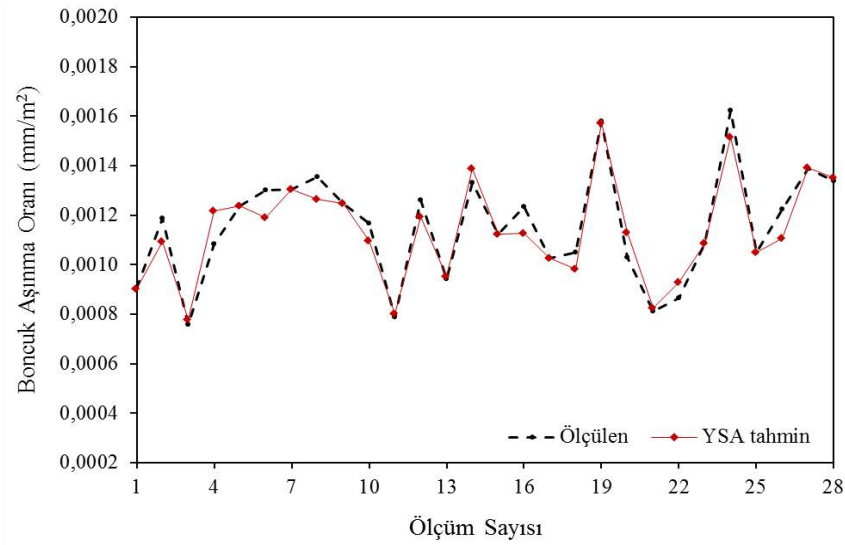


Şekil 13. Geri yayımlı sinir ağı giriş ve çıkış parametreleri

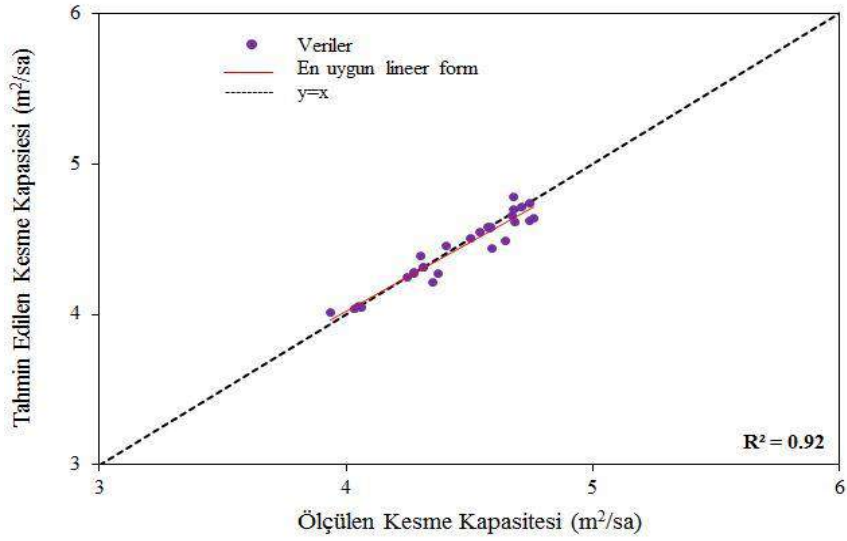
Yapay Sinir Ağları (YSA) modeli ile tahmin edilen çıkış değerleri ile sahada ölçülen değerler arasında oldukça yüksek korelasyonlu ilişkiler ( $R^2=0,92-0,94$ ) elde edilmiştir (Şekil 14, 16, 18, 20). Ölçülen ve Yapay Sinir Ağları (YSA) modeli ile tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması Şekil 15, 17, 19 ve 21’de verilmiştir.



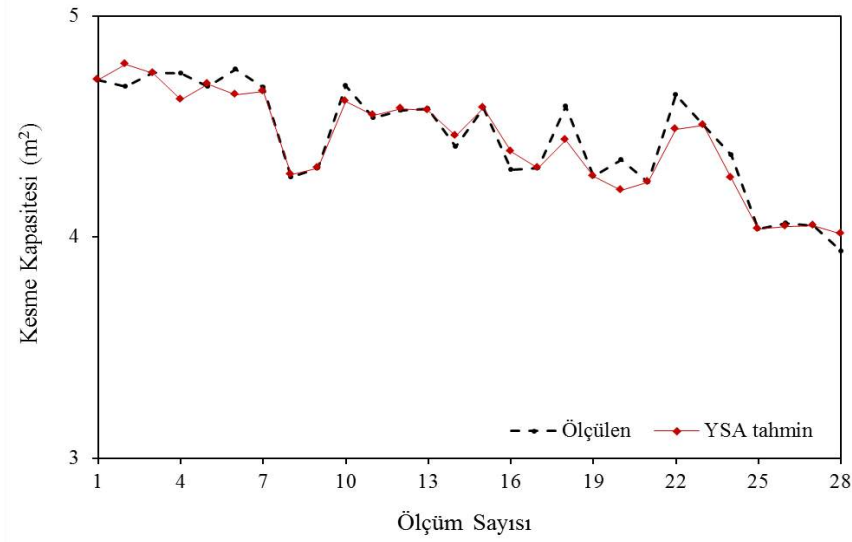
Şekil 14. Ölçülen ve YSA ile tahmin edilen boncuk aşınma oranı değerleri arasındaki ilişkiler (Bej mermer)



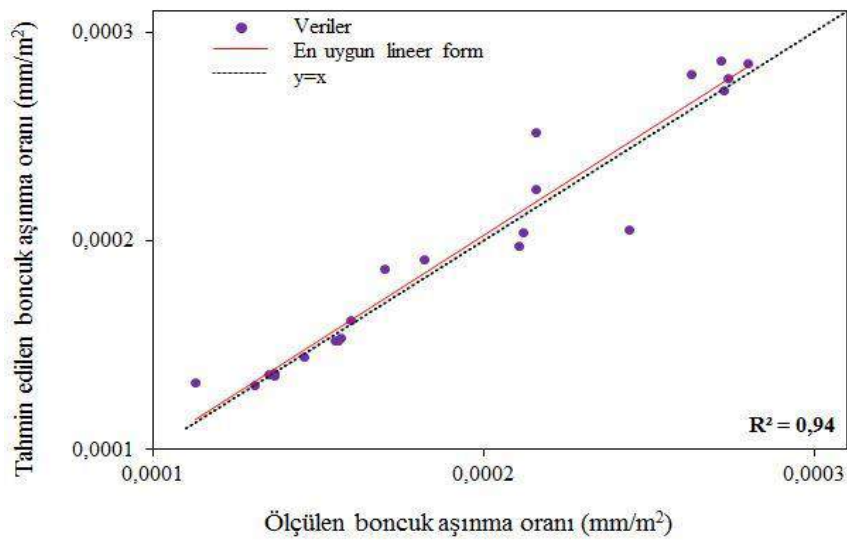
Şekil 15. Ölçülen ve YSA ile tahmin edilen boncuk aşınma oranı değerlerinin karşılaştırılması (Bej mermer)



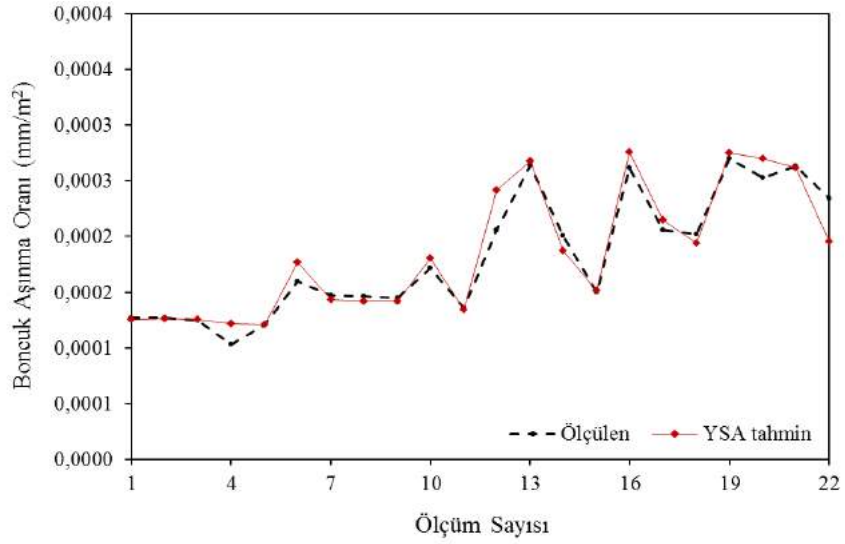
Şekil 16. Ölçülen ve YSA ile tahmin edilen kesme kapasitesi değerleri arasındaki ilişkiler (Bej mermer)



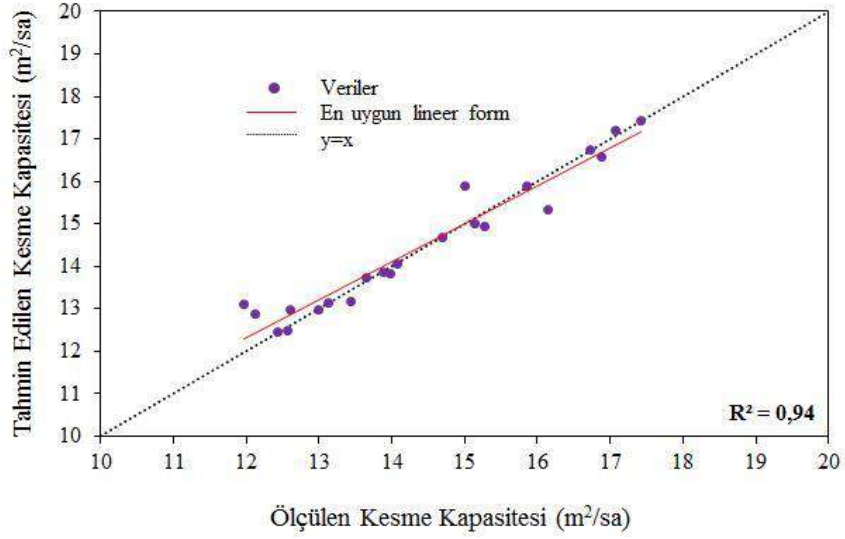
Şekil 17. Ölçülen ve YSA ile tahmin edilen kesme kapasitesi değerlerinin karşılaştırılması (Bej mermer)



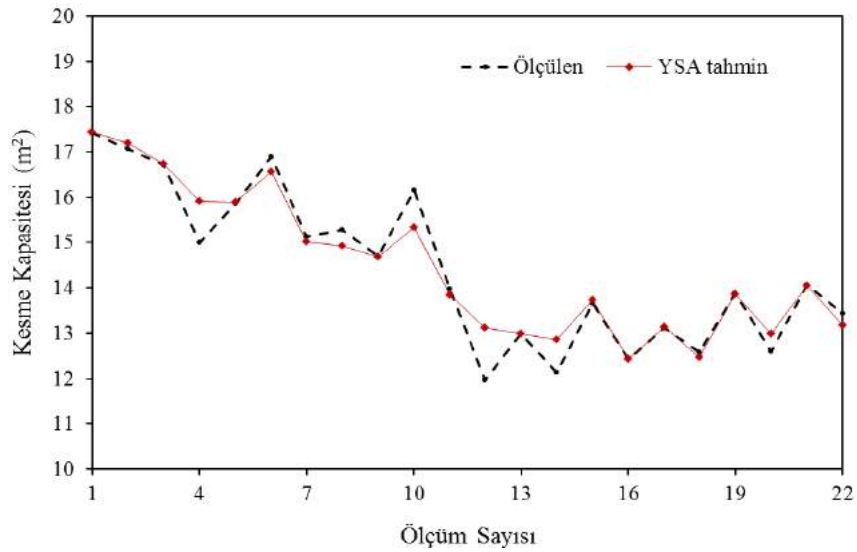
Şekil 18. Ölçülen ve YSA ile tahmin edilen boncuk aşınma oranı değerleri arasındaki ilişkiler (Sarı traverten)



Şekil 19. Ölçülen ve YSA ile tahmin edilen boncuk aşınma oranı değerlerinin karşılaştırılması (Sarı traverten)



Şekil 20. Ölçülen ve YSA ile tahmin edilen kesme kapasitesi değerleri arasındaki ilişkiler (Sarı traverten)



Şekil 21. Ölçülen ve YSA ile tahmin edilen kesme kapasitesi değerlerinin karşılaştırılması (Sarı traverten)

### 3. Sonuç

Elmaslı tel ile mermer üretim faaliyetlerinde kesme performansını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bu kapsamda; makine gücü, makinenin elmaslı tele uyguladığı çekme kuvveti, elmaslı telin çevresel hızı, elmaslı tel ve elmaslı boncuk yapısı, kesim tipi, basamak geometrisi gibi çalışma parametreleri ile kayacın mineralojisi, dokusu, sertliği, mukavemeti vb fiziksel ve mekanik parametreler önemli rol oynamaktadır. Kesme performansını etkileyen diğer faktörlerin yanında en önemli faktörlerden birinin de ocak basamak geometrisi olduğu bilinmektedir.

Elmaslı tel ile mermer üretiminde basamak geometrisinin kesme performansı üzerine etkilerinin ayrıntılı olarak incelenmesi amacıyla bu araştırma, iki farklı mermer işletmesinde gerçekleştirilmiştir. Bu mermer işletmelerinde kesme yüksekliği/kesme genişliği oranının (h/l) artmasına paralel olarak saatlik kesme kapasitesinin düştüğü tespit edilmiştir.

Genel bir yaklaşımla kesilen alan ile saatlik kesme kapasitesi arasında ikinci dereceden fonksiyonel (polinom) ilişkilerin varlığı söz konusudur. Bu ilişkiler, yüksek kesme kapasitesi değerlerinin elde edildiği oldukça geniş aralıklı kesme alanlarına (m<sup>2</sup>) işaret etmektedirler. Ancak, elmaslı boncuklarda meydana gelen aşınma oranları da dikkate alındığında sadece bu ilişkilerden yola çıkarak kesme alanlarının belirlenmesinin çok gerçekçi olmadığı söylenebilir. Elmaslı boncuklarda oluşan aşınma oranları daha dar aralıklı kesme alanlarına ve h/l oranlarına işaret etmektedir.

Elmaslı boncuk aşınma oranı ile kesilen alan ve h/l arasında her zaman anlamlı ilişkiler elde edilememektedir. Buna rağmen bu ilişkiler basamak geometrisinin seçimine dönük önemli veriler sağlamaktadır.

Mermer ocaklarında basamak geometrisinin kesme kapasitesi ve aşınma üzerine oldukça belirgin bir etkisi vardır. Bu geometri her saha için farklı olup ideal durum yerinde ölçümlerle belirlenmelidir. Genel bir yaklaşımla h/l oranının 0,3-0,5 civarında olması durumunda iyi sonuçlar elde edilebileceği söylenebilir.

Yapay Sinir Ağları ile yapılan modelleme çalışmalarında giriş parametreleri olarak kesilen alan ve h/l oranı seçilmiş, sahada ölçülen ve modelden tahmin edilen aşınma oranları ve kesme kapasiteleri arasında oldukça yüksek korelasyonlu ilişkiler tespit edilmiştir. Bu durum elmaslı tel kesme ile mermer üretiminde basamak geometrisinin aşınma oranı ve saatlik kesme kapasitesi üzerinde oldukça etkili olduğunu ortaya koymaktadır.

### 4. Teşekkür

Yazarlar Emmioğlu Mermer A.Ş. ve Özmersan Mermer A.Ş. personeline teşekkürlerini sunarlar.

### Kaynakça

- Beckman, T.R., Hulick, R.M. (1991). Diamond wire sawing speed dam project. *Industrial Diamond Review*, 272-274.
- Berry, P., Bortolussi, A., Ciccu, R., Manca, P.P., Masacci, G., Pinzari, M. (1989). Optimum use of diamond wire equipment in stone quarrying. In: *Proceedings of the 21st APCOM, Las Vegas*, 351-365.
- Bortolussi, A., Ciccu, R., Manca, P.P., Massacci, G. (1990). Simulation and optimization of rock cutting with diamond wire. XXII. *International Symposium APCOM, Berlin*, 163-176.
- Bortolussi, A., Ciccu, R., Manca, P.P., Massacci, G. (1994). Computer simulation of diamond-wire cutting of hard rock and abrasive rock. *IMM*, 103, 55-128.
- Cai, O., Mancini, R. (1989). Diamond wire for cutting hard rock. *Dimensional Stone*, 24-27.
- Capuzzi, Q. (1989). Diamond wire cutting technology in granite quarry. *ACIMM for Marble*, 24.
- Demirdağ, S. (2001). Mermer işletmeciliğinde elmas telle kesim performansının araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Fausett, L. (1994). *Fundamentals of neural networks*. NJ Prentice Hall, 328-329.
- Fine, T.L. (1999). *Feedforward neural network methodology*. Springer.
- Görgülü K. (1994). Bazı mermer ocaklarında (Isparta-Burdur-Sivas) işletme sistemlerinin incelenmesi ve öncelikli kaya madde/kütle özellikleri ile ilişkilendirilmesi araştırmaları. C.Ü. Fen Bil. Enst. Maden Müh. Anabilim Dalı, Sivas, 95.
- Gurney, K. (1997). *An introduction to neural networks*. CRC Press.
- Hayes, D. (1990). Demolition-the modern method. *Industrial Diamond Review*, 69.
- Haykin S. (1994). *Neural networks*. Macmillan Collage Publishing Company, 1994, 181-182
- Jain, S.C., Rathore, S.S. (2009). Role of cut size area on the performance of diamond wire saw machine in quarrying of marble. *International Journal of Mining Reclamation and Environment*, 23, 79-91.
- Jain, S.C., Rathore, S.S. (2011). Prediction of cutting performance of diamond wire saw machine in quarrying of marble a neural network approach. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 44, 367-371.



Lin C., Lee G. (1996). Neural fuzzy systems. Prentice Hall, 236-240, 242, 445-448.

Mannoni, L, Mannoni T. (1984). Le marbre. Sagep, Italy, 270.

Özçelik, Y. (1999). Mermercilikte kullanılan elmas tel kesme makinalarının çalışma koşullarının incelenmesi. Doktora tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.

Özçelik, Y., Kulaksız, S., Çetin, M.Ç. (2002). Assessment of the wear of diamond beads in the cutting of different rock types by the ridge regression. Journal of Materials Processing Technology, 127, 3, 392-400.

Paul, D. (1993). Levenberg-Marquart methods and nonlinear estimation. SIAM News, 26, 6.

Tönshoff, H.K., Asche, J. (1997). Wear of metal-bond diamond tools in the machining of stone. Industrial Diamond Review, 1, 7-13.

Tönshoff, H.K., Hillmann-Apmann, H. (2002). Diamond tools for wire sawing metal components. Diamond and Related Materials, 11, 742-748.

Werland, W. (1990). Railway bridge cut in two. Industrial Diamond Review, 65-66.



# Doğu Anadolu Bölgesi İçin En Büyük Yer İvmesi Tahmini

Erdem Bayrak<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Atatürk Üniversitesi, Oltu Yer Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9907-1463)

(İlk Geliş Tarihi 1 Ekim 2019 ve Kabul Tarihi 6 Kasım 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.637938)

**ATIF/REFERENCE:** Bayrak, E. (2019). Doğu Anadolu Bölgesi için En Büyük Yer İvmesi Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 676-681.

## Öz

En büyük yer ivmesi (PGA), deprem tehlikesi değerlendirmeleri için önemli bir parametredir. Bu nedenle, PGA'nın hesaplanması için azalım ilişkileri geliştirilmiştir. Genel olarak bu ilişki deprem büyüklüğü ve episantr uzaklığı ile ilgilidir. Ayrıca araştırmacılar diğer parametrelere göre (zemin sınıflandırması, sismik hız vb.) farklı azalım ilişkileri geliştirmiştir. Bu çalışma, kuvvetli yer hareketi parametrelerinden PGA'yı Yapay Sinir Ağı (YSA) ile tahmin etmeyi amaçlamaktadır.

Yapay Sinir Ağı (YSA), teknolojinin gelişmesiyle birlikte literatürde artan etkin ve modern bir modelleme yöntemidir. Yapay Sinir Ağları, karmaşık olayları modellemek için geliştirilmiş matematiksel tasarımlardır. Jeofiziksel uygulamaların pek çok alanında da parametrelerin tahmini için YSA kullanılmıştır. Bu çalışmada, Doğu Anadolu Bölgesi'nde meydana gelen depremlerin en büyük yer ivmesini tahmin etmek için YSA kullanımı araştırılmıştır. YSA modellerini eğitmek için TC Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Kurumu Deprem Dairesi Başkanlığı (AFAD) kuvvetli hareket istasyonları tarafından kaydedilen 128 deprem için toplam 564 kayıt kullanılmıştır. Çıktı verileri ise kaydedilen PGA'dan oluşur. Ayrıca, en büyük yer ivmesi ile diğer parametreler arasındaki ilişki (uzaklık, büyüklük) çoklu regresyon yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Bazı istasyonlar için Vs30 hızları önceki çalışmalarla belirlenmiştir. Aynı işlem Vs30 parametresi eklenerek tekrarlanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca YSA tarafından tahmin edilen PGA ve regresyon analizi, birkaç azalım ilişkisine göre hesaplanan PGA ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, YSA'nın azalım ilişkilerinden tahmin edilenden daha güvenilir ve gerçek benzeri PGA değeri verdiğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** : En Büyük Yer İvmesi, Yapay Sinir Ağları, Çoklu Regresyon Analizi

## Estimation of the Peak Ground Acceleration for Eastern Turkey

### Abstract

The peak ground acceleration (PGA) is significant parameter for earthquake hazard assessments. Therefore attenuation relationships have been developed for calculating PGA according to strong-motion databases. Generally this relation has been related to the earthquake magnitude and epicenter distance. Besides researchers have formulated different attenuation relationships according to other parameters (such as soil classification, seismic velocity, etc ). This study aim to estimate the PGA with ANN trained by strong-motion databases.

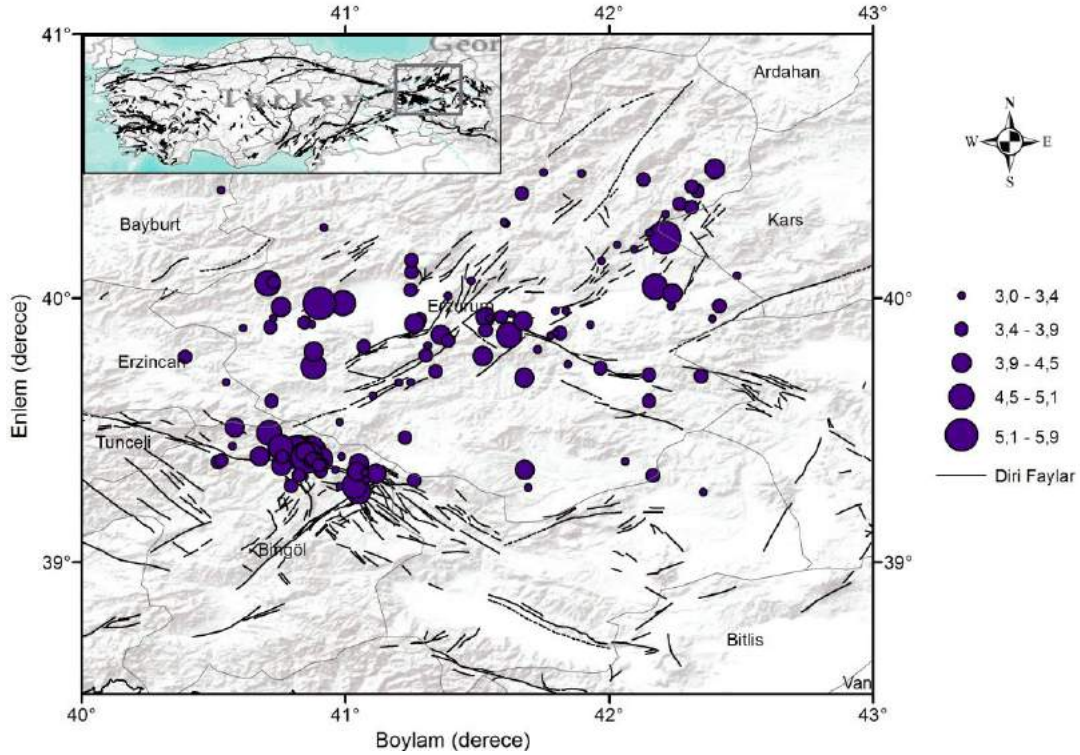
Artificial Neural Network (ANN), efficient and modern modelling method which has increased in literature with development of technology. Artificial Neural Networks are mathematical tools design to perform complex pattern recognition tasks. They have been estimated parameters in many field also geophysical applications. The use of ANN is explored to predict peak ground accelerations for Eastern Turkey earthquakes. A total of 564 records for 128 earthquakes recorded by Republic of Turkey Prime Ministry Disaster and Emergency Management Authority Presidential of Earthquake Department (AFAD) strong motions stations are used to train the ANN models. The output data consist of the real recorded PGA. Also, the relationship between peak ground acceleration and other parameters (distance, magnitude) was investigated by using multiple regression method. Vs30 velocities for some stations were determined by previous studies. The same procedure was repeated by adding Vs30 parameter and the results were compared. Also the estimated PGA by ANN and regression analysis have been compared with calculated PGA according to several attenuation relationships. The results show that the ANN give more reliable and real-like PGA value than estimated from attenuation relationships.

**Keywords:** Peak Ground Acceleration, Artificial Neural Network, Multiple Regression Analysis

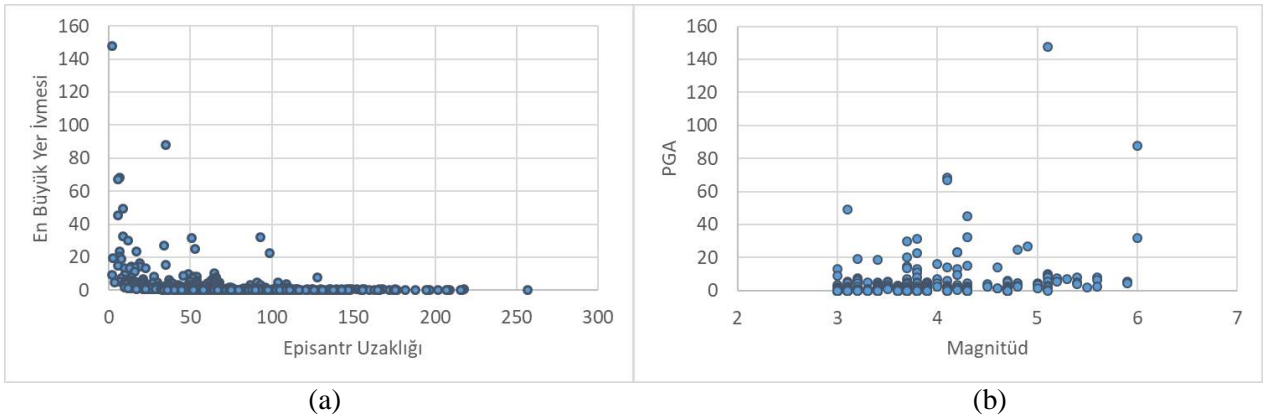
\* Sorumlu Yazar: Atatürk Üniversitesi, Oltu Yer Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9907-1463), [erdmbyrk@gmail.com](mailto:erdmbyrk@gmail.com)



uzaklığı verileri de kullanılmıştır. Son olarak istasyonlara ait Vs30 hızları da hesaplamaya dâhil edilmiştir. Vs30 hız verisi ise 235 adettir. Episantr uzaklığı 2-257 km arasında, ivme değeri ise 0.01 ile 148 gal arasında değişmektedir (Şekil 3a-b).



Şekil 2. Çalışmada kullanılan 128 adet depremin episantr dağılımı ve çalışma alanı



Şekil 3. a) Episantr uzaklığı-PGA grafiği b) Magnitüd-PGA grafiği

## 2.2. En Küçük Kareler Yöntemi

Regresyon analizi yaparken en çok kullanılan yöntemlerden biri en küçük kareler yöntemidir. En küçük kareler yöntemi, tıp, finans, mühendislik, ziraat, biyoloji ve sosyoloji gibi çeşitli bilim dallarında çeşitli değişkenler arasındaki ilişkiler belirlenirken kullanılan en önemli araçlar arasındadır.

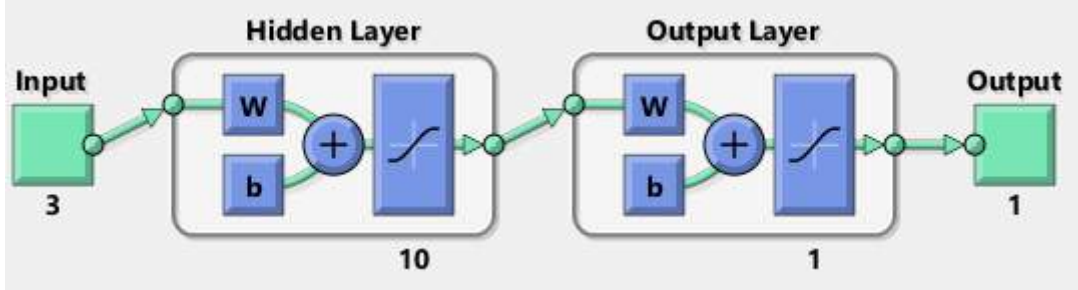
EKKY ampirik bağıntı geliştirmek için sıkça kullanılan bir yöntemdir. Fakat bu yöntemin matematiksel ve istatistiksel olarak bazı sınırlamaları bulunmaktadır. Bu sınırlamalardan en önemlisi bağımlı değişken Y'nin bağımsız değişken X'e göre kesin olarak bilinmesinin gerekmesidir. Bağımlı ve bağımsız değişkenler  $Y=ax+b$  denklemindeki belirsizlikten etkilenirler (Castellaro vd., 2006).

## 2.3. Yapay Sinir Ağları



İnsan beynini oluşturan sinir hücrelerinden önerilen bir yöntem olan Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemi kullanılmıştır. Bir sinir hücresinin (nöron) temelini; dendrid, sinaps ve akson oluşturmaktadır. Bunlardan dendrid bilgiyi alır, sinaps diğer birimlere aktarır ve akson ise geçiş yollarını oluşturur. Böylelikle, nörona verilen bir sinyal, birçok biyolojik nöronun bir araya gelmesiyle bilgiye dönüşmektedir.

Yer hareketi gibi doğrusal olmayan sistemlerin modellenmesinde çok katmanlı yapay sinir ağları kullanılmaktadır (Şen, 2004). Şekil 4'de çok katmanlı yapay sinir ağı modeli görülmektedir.



Şekil 4. Çok katmanlı yapay sinir ağı modeli (Vs30 hızı kullanılmayan durumda giriş 3, kullanılan durumda ise girdi verisi 4 parametreden oluşmaktadır)

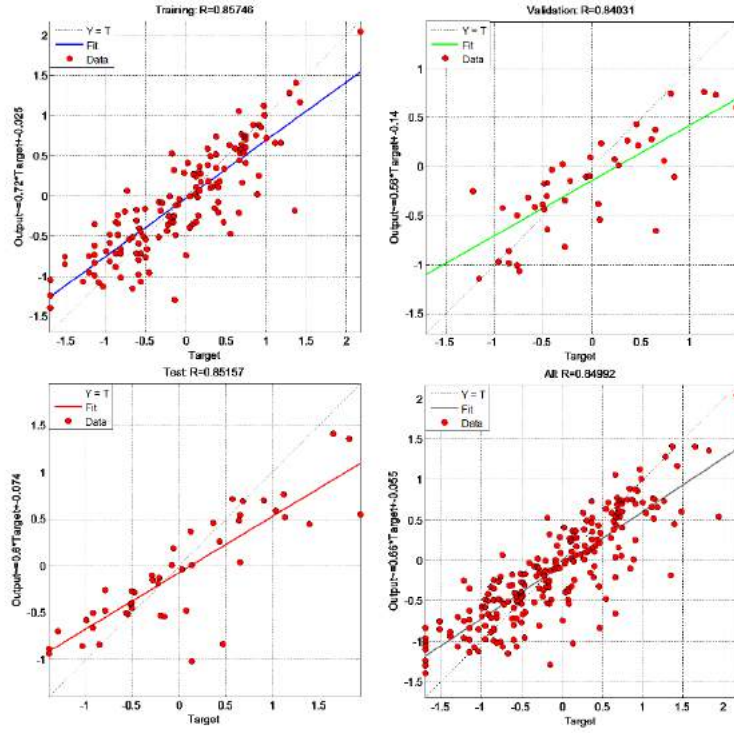
Bu çalışmada hata yayma modeli veya geriye yayım modeli (backpropagation network) olarak da bilinen çok katmanlı algılayıcı ağı modeli (ÇKA) (multilayer perceptron) kullanılmıştır. Bu yöntemde çözüm uzayını oluşturmak için hem girdiler hem de o girdilere karşılık çıktılar eğitim aşamasında eğitilir ve ağı bu verilere göre çözüm uzayını oluşturur. Daha sonra gösterilen benzer örnekler için bu çözüm uzayı sonuçlar üretmektedir (Güllü vd., 2007).

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

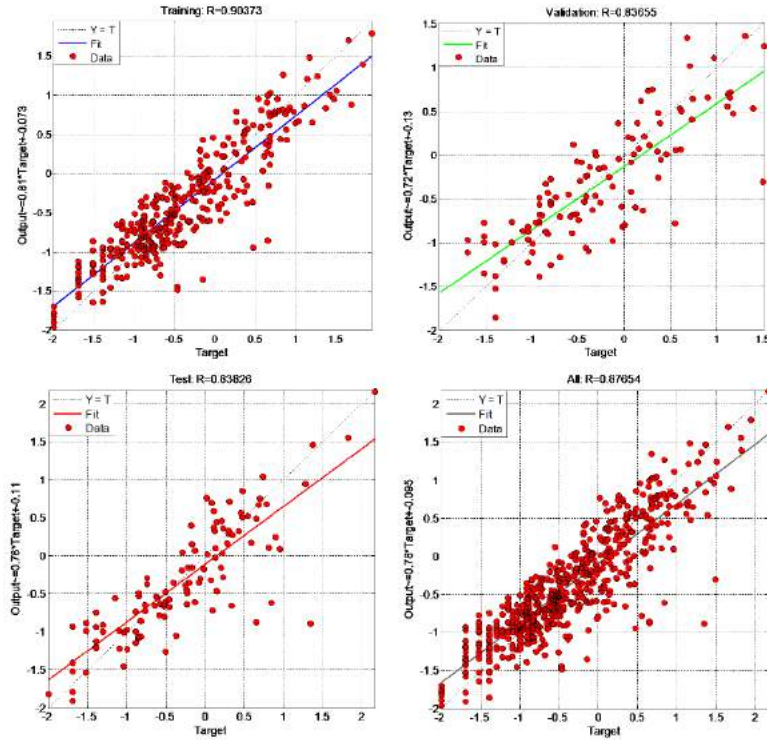
YSA modelinde girdi olarak depremlerin büyüklüğü, episantr uzaklığı, hiposantr derinliği ve Vs30 hızları, çıkış parametresi ise en büyük yer ivmesi olarak belirlenmiştir. Her istasyona ait Vs30 hızı bulunmadığı için, çalışmada iki model kullanılmıştır. Bunlardan ilki Vs30 hızı bilinen istasyonlarla, diğer modelde ise tüm istasyon verileri kullanılmıştır. Oluşturulan modellerde girdi katmanı 3, gizli katman 2 ve çıktı katmanı da 1 tabakadan oluşmakta olup, gizli katmandaki nöron sayısı 10 olarak tanımlanmıştır. Girdi katmanının %70'i eğitim verisi olarak kullanılırken, %30'u ise test verisi olarak kullanılmıştır. YSA'da İleri-beslemeli Levenberg-Marquardt geri yayılım öğrenme algoritması kullanılırken, aktivasyon fonksiyonu olarak ise Tanjant Sigmoid kullanılmıştır.

Yapay Sinir Ağı ile yapılan analiz sonucunda, regresyon katsayısı %80-88 arasında değişen sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 5-6). Bu değerler, regresyonun başarılı olduğunu göstermektedir. İvmeler arasındaki korelasyon katsayısı Vs30 kullanıldığı durumda yaklaşık %85 ve kullanılmadığı durumda ise %88 bulunmuştur. Hata oranında ise ortalama hata kare (MSE) parametresi kullanılmış ve her iki durumda da yaklaşık MSE=0.20 elde edilmiştir. Çoklu Regresyon analizi ile Vs30 hızı kullanmadan yapılan analizde  $R^2=0.74$  ve MSE=0.4, Vs30 hızı kullanılarak yapılan analizde ise  $R^2=0.62$  ve MSE=0.51 elde edilmiştir. Bu değerlerin, karmaşık bir ortamda meydana gelen depremlerin modellenmesinde gayet makul sonuçlar olduğu ve girdi parametrelerinin arttırılması ile birlikte daha yüksek ilişki katsayısı elde edilebileceği düşünülmektedir.





Şekil 5. a) Girdi verisinde Vs30 hızı kullanılarak hesaplanan YSA modeli



Şekil 6. Girdi verisinde Vs30 hızı kullanılmayarak hesaplanan YSA modeli sonuçları

#### 4. Sonuç

Bu çalışma kapsamında, Doğu Anadolu Bölgesi'nde meydana gelen depremlerin ivmelerinin tahmin edilmesinde yapay sinir ağı ve regresyon analizlerinin performanslarının karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışmada toplam 128 adet depreme ait 564 ivme kaydı kullanılmıştır. YSA'da ve regresyonda iki model oluşturulmuş, ilk model Vs30 hızı içerirken ikinci model bu parametreyi içermemektedir. Her iki yöntemle yapılan analiz sonucunda Vs30 hızı içeren modelin daha düşük ilişki katsayısı verdiği görülmüştür. YSA ve regresyon modellerinin sonuçlarına bakıldığında ise, YSA ile yapılan analizde daha yüksek ilişki katsayısı elde edilmiştir. ( $R_{YSA, Vs30}^2 = 0.85$ ,  $R_{ÇRA, Vs30}^2 = 0.62$ ;  $R_{YSA}^2 = 0.88$ ,  $R_{ÇRA}^2 = 0.74$ ). Deprem yerkürede meydana gelen olayların en karmaşıklarından bir tanesidir ve elde edilen ilişki katsayıları her iki durumda da gayet makul seviyelerde görülmektedir. Ancak bu performans, farklı YSA

modellerinin seçilmesi, model parametrelerinin değiştirilmesi ile daha da yükseltilebilir. Bu sonuçlara göre, Yapay Sinir Ağı ivmelerin tahmin edilmesinde de kullanılabileceği açıkça görülmektedir. Bu çalışmada en büyük yer ivmesinin tahmininde yapay sinir ağı ve regresyon yöntemlerinin karşılaştırılması yapılmış ve yapay sinir ağının daha iyi sonuçlar ürettiği ortaya konulmuştur.

## Kaynakça

- Ambraseys, N. N. (2001). Reassessment of earthquakes. *Geophysical Journal International*, 145 (2) 471-485.
- Anderson, J. G. (1991). Strong motion seismology. *Reviews of Geophysics*, 29, 700–720 (part 2).
- Boore, D. M. (1983). Strong-motion Seismology. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 21 (6), 1308–1318.
- Castellaro, S., Mulargia, F., & Kagan, Y. Y. (2006). Regression Problems for Magnitude. *Geophysical Journal International*, 165 (3), 913-930.
- Cisternas, A., Philip, H., J, C. B., Cara, M., Deschamps, A., Dorbath, L., & Rivera, L. (1989). The Spitak (Armenia) earthquake of 7 December 1988: field observations, seismology and tectonics. *Nature*, 339(6227), 675.
- Douglas, J. (2003). Earthquake ground motion estimation using strong motion records: a review of equations for the estimation of peak ground acceleration and response spectral ordinates. *Earth-Science Reviews*, 61 (1–2), 43–104.
- Eyidoğan, H., Güçlü, U., Utku, Z., & Değirmenci, E. (1991). Türkiye büyük depremleri makrosismik rehberi (1900-1988). İTÜ MF Jeofizik Mühendisliği Bölümü Yayınları.
- Güllü, H., Pala, M., & İyisan, R. (2007). Yapay Sinir Ağları ile En Büyük Yer İvmesinin Tahmin Edilmesi. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*. İstanbul.
- Irmak, T. S., Doğan, B., & Karakaş, A. (2012). Source mechanism of the 23 October, 2011, Van (Turkey) earthquake (M<sub>w</sub>= 7.1) and aftershocks with its tectonic implications. *Earth, planets and space*, 64 (11), 991-1003.
- Joyner, W. B. (1987). Strong-motion seismology. *Reviews of Geophysics*, 25 (6), 1149–1160.
- Joyner, W. B., & Boore, D. M. (1988). Measurement, characterization, and prediction of strong ground motion. *Proceedings of Earthquake Engineering and Soil Dynamics. II. Geotechnical Division, ASCE*, 43–102.
- Koçyiğit, A. (2013). New field and seismic data about the intraplate strike-slip deformation in Van region, East Anatolian plateau, Eastern Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 62, 586–605.
- Koçyiğit, A., & Canoğlu, M. C. (2017). Neotectonics and seismicity of Erzurum pull-apart basin, East Turkey. *Russian Geology and Geophysics*, 58, 99–122.
- Özer, Ç., Özyazıcıoğlu, M., Gök, E., & Polat, O. (2018). Imaging the Crustal Structure Throughout the East Anatolian Fault Zone, Turkey, by Local Earthquake Tomography. *Pure and Applied Geophysics*, 1-27.
- Özer, Ç., & Özyazıcıoğlu, M. (2019). The Local Earthquake Tomography of Erzurum (Turkey) Geothermal Area. *Earth Sciences Research Journal*, 209-223.
- Özer, Ç. (2019a). Investigation of the Local Soil Effects of Erzurum and Its Surroundings Using SSR and HVSR Methods. *DEU Journal of the Faculty of Engineering Journal of Science and Engineering*, 21 (61), 247-257.
- Özer, Ç. (2019b). Investigation of Soil Amplification in Lake Van Basin. *Research Reviews in Engineering (Book Chapter)* (s. 63-75, ISBN: 978-605-7631-38-1).
- Öztürk, S., & Bayrak, Y. (2005). 25 Mart 2004 Erzurum depremi, Md = 5.3, Artçı şok aktivitesi için sismosite parametreleri b ve p değerlerinin bölgesel değişimleri. II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi, (s. 475-481). İstanbul.
- Somerville, P. G., & Graves, R. W. (2003). Characterization of earthquake strong ground motion. *Pure and Applied Geophysics*, 160, 1811–1828.
- Şen, Z. (2004). Yapay Sinir Ağları İlkeleri. İstanbul Su Vakfı.
- Tan, O., Tapırdamaz, M. C., & Yörük, A. (2008). The earthquake catalogues for Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17(2), 405-418.
- Üner, S., Yesilova, Ç., Yakupoglu, T., & Üner, T. (2010). Pekismemis sedimanlarda depremlerle oluşan deformasyon yapıları (sismitler): Van Gölü Havzasi, Dogu Anadolu. *Yerbilimleri*, 31/1, 53–66.



# Different Autopilot Systems Design For a Small Fixed Wing Unmanned Aerial Vehicle

Sezer Çoban<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Iskenderun Technical University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Hatay, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6750-5001)

(First received 1 Ekim 2019 and in final form 6 Kasım 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.639309)

**ATIF/REFERENCE:** Çoban, S. (2019). Different Autopilot Systems Design For a Small Fixed Wing Unmanned Aerial Vehicle. *European Journal of Science and Technology*, (17), 682-691.

## Abstract

The aim of this study is to design an autopilot system for Unmanned Aerial Vehicle (UAV) in a small size and to compare the efficiency of the systems designed with different methods. For this purpose, linearized equations of motion for a small size UAV has been firstly obtained. Then the state space equations are used to check the stability characteristics of the UAV. Using the classical method, the longitudinal pitch angle, altitude and speed controller are designed for separate transfer functions according to the location curve of the roots and the desired response values. PID values were determined by considering the response of the system using classical methods. On the other hand, a feedback control system has been designed to improve the stability of different lines. And also an orientation controller has been designed. New approach proposed in the study is Adaptive Network Based Fuzzy Inference Systems (ANFIS) controller. In this study, a new controller approach based on fuzzy logic is proposed. Four data sets, PID control inputs and control sign have been obtained for the design of the proposed controller. These data sets have been used for training the fuzzy controller. As a result; It is presented with graphs that the proposed method is applicable and gives successful results.

**Keywords:** UAV (Unmanned Aerial Vehicle), Dynamic Model, State Space Model, ANFIS

---

\* Corresponding Author: Iskenderun Technical University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Aircraft Airframe and Powerplant, Hatay, Turkey, ORCID: 0000-0001-6750-5001, [sezer.coban@iste.edu.tr](mailto:sezer.coban@iste.edu.tr)

## **1. Introduction**

In recent years, unmanned aerial vehicles have been the subject of both official and private researches due to various uses. These types of vehicles are used for many purposes, such as searching, carrying out various military tasks, conducting atmospheric research and agricultural data collection. New studies are carried out for the development of both military and search and rescue mini and micro UAV dimensions (Çoban and Oktay, 2017). The smaller the size of the vehicle, the lower the cost of both the construction cost and the use. For both military and special purpose jobs, small aircraft are preferred for these reasons. One disadvantage of this type of tools is the aerodynamic requirements, which vary in size.

During the literature search, articles and thesis abstracts and theses on modeling and control systems design on various aircraft and especially UAVs were examined. The main objective is to use the classical control system, which is thought to be used in the thesis, the design of linear quadratic control system for the optimal control system and the control system applications based on fuzzy logic applications are reviewed more carefully, the differences in the model and the non-linear control applications and the effectiveness of the control system and future studies.

Modeling is an important step for controlling the system in various conditions. The necessary coefficients for UAV type vehicles can be provided with a non-linear model which was previously created to find the aerodynamic parameters and then the values determined by flight tests (Çoban and Oktay, 2017). These data can also be tested with simulation programs that provide the required conditions. The model can then be linearized and adapted to the desired control design (Çoban and Oktay, 2018; Fahlstrom and Gleason, 1998). In the same way, it is also possible to design a general control system by using the model linearization method for different flight conditions (Kumon et al., 2006).

Once the model of the aircraft was obtained for the desired conditions and the longitudinal and lateral state equations were found, a study of the ground curve of the roots for stability control was performed in the studies, so that the effect of small changes on the character of the aircraft was calculated (Fahlstrom and Gleason, 1998; Kumon et al., 2006; Christiansen, 2004; Kinoshita and Imado, 2006). Similarly simulating the equations of the aircraft, it is also possible to understand how to treat the aircraft in known modes. A similar study was performed with lateral dutch roll and spiral modes, and a longitudinal period with a short period mode (Lopez et al., 2007). There is also the possibility of comparing the model with the real flight data and coefficients determined by the same methods.

After deciding the desired control design, cycles are formed according to the stability or direction determination characteristics to be produced by the controller. For example, the controller design for a small-scale aircraft was followed by a study to follow the situation according to the flight curve instead of the nested design for the classic role mode, pitch angle control, alignment and height control, and a study was performed to correct the errors to pass through a specified curve, with the equations according to the angle of the elevator, the lateral position is controlled by the equations according to the aileron, elevator and rudder angles and by the PID control structure by using the equations (Mermoud and Gonzalez, 2006). In another study, the coefficients were determined using the ground curve of the roots using classical feedback cycle for both longitudinal and lateral control, the stability increasing cycle including the pitch angle and angle change for the pitch angle, using the velocity control for speed control for longitudinal total control and Considering the change in pitching angle, the total cycle in which the pitch angle control was updated was calculated, and in lateral control, coefficients were calculated by using a cycle that considers the tilt angle and angle changes for the role mode control together with the deflection angle change (Nelson, 1998). In a study, the classical control methods were used to design a control system that provided the angle of attack, wobble angle and speed control for the model found, the angle of attack in the longitudinal control and the control of the pitch angle provided by the feedback and the addition of the PI controller; the control system was again created by the addition of a PI controller ( Vural and Hajiyev, 2008). In another study, external controllers such as height, direction and speed were designed as PID. The internal controllers are the side-tilt angle and tilt angle control, the pitch angle for the deflection angle, the pitch angle for the longitudinal movement and the pitch pitch change and the longitudinal speed controllers, respectively, for role mode control for lateral motion (Lopez et al., 2007). As seen, although different methods are applied, internal controllers for pitching, tilting and deflection angles and interactions with each other and generally external controllers such as height, longitudinal speed and direction of rotation are designed for longitudinal and lateral control of the aircraft. Classical control methods are also known to give good results for UAVs, and they are often used in autopilot control systems. With the development of artificial intelligence techniques, human decision making processes are left to computers. With the development of this field, artificial intelligence techniques have found their place in control systems (Bilgic el al., 2016; Şen et al., 2016). Bilgic et al. designed the LQR controller for the stability control of an experimental cart pendulum system and used the controller application data as training data in the ANFIS environment. In this way, they have designed a fast and efficient fuzzy controller (Bilgiç et al, 2014). In this study, a new approach to fuzzy controller design which is one of the artificial intelligence techniques is proposed.

## **2. Material and Method**

### **2.1. Flight Motion Equations and Flight Control System**

In order to perform any dynamic modeling of any aircraft or any UAV, it is necessary to obtain the governing equations of the aircraft body. These equations can be classified into three groups. These equations are the force equations of the body, the moment equations and kinematic equations. Newton's Second Law was used in the literature to extract the force equations. Equation 1 provides this law:

$${}^I \vec{F} = M_a \frac{d\vec{V}_{cg}}{dt} = M_a \left[ \frac{\partial \vec{V}_{cg}}{\partial t} + {}^I \vec{\omega}^A \otimes \vec{V}_{cg} \right] \quad (1)$$

The components of the force in the three axes (X, Y, Z) are as follows: the weight of the aircraft, linear accelerations ( $u, v, w$ ), linear speeds ( $u, v, w$ ), angular velocities ( $p, q, r$ ) and Euler orientation angles ( $\theta_A, \phi_A$ ) (Yechout et al., 2003):

$$F_A = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_a(\dot{u} + qw - rv) + M_a g \sin(\theta_A) \\ M_a(\dot{v} + ru - pw) - M_a g \cos(\theta_A) \sin(\phi_A) \\ M_a(\dot{w} + pv - qu) - M_a g \cos(\theta_A) \sin(\phi_A) \end{bmatrix} \quad (2)$$

For the extraction of the moment equations, the Angular Momentum Conservation Law, which is widely used in the literature, has been utilized. In Equation 3 this law is granted:

$${}^I \dot{\vec{h}} = \frac{\partial}{\partial t} {}^I \vec{h} + {}^I \vec{\omega}^A \otimes {}^I \vec{h} \quad (3)$$

The components of the moment in the three axes (L, M, N) can be given in terms of the elements of the aircraft inertial matrix ( $I_{xx}, I_{yy}, I_{zz}, I_{xz}$ ), angular velocities ( $p, q, r$ ) and angular accelerations ( $\dot{p}, \dot{q}, \dot{r}$ ) (Yechout et al., 2003):

$$M_A = \begin{bmatrix} L \\ M \\ N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{xx}\dot{p} - (I_{yy} - I_{zz})qr - I_{xz}(pq + \dot{r}) \\ I_{yy}\dot{q} - (I_{zz} - I_{xx})pr + I_{xz}(p^2 - r^2) \\ I_{zz}\dot{r} - (I_{xx} - I_{yy})pq - I_{xz}(\dot{p} - rq) \end{bmatrix} \quad (4)$$

Kinematic equations are used in aviation by using 3-2-1 axis transformation order as follows:

$$\begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{\phi}_A - \dot{\psi}_A \sin(\theta_A) \\ \dot{\psi}_A \cos(\theta_A) \sin(\phi_A) + \dot{\theta}_A \cos(\phi_A) \\ \dot{\psi}_A \cos(\theta_A) \cos(\phi_A) - \dot{\theta}_A \sin(\phi_A) \end{bmatrix} \quad (5)$$

In Figure 1, linear and angular velocity components in an aircraft are presented visually in the aircraft axis assembly. In Figure 2, the relationship between the speed components and off-shore and side strap angles are presented in an aircraft.

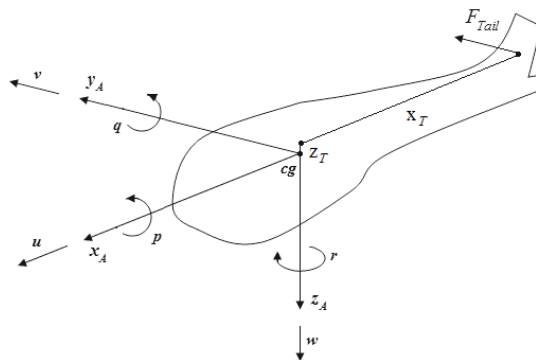


Figure 1. Linear and Angular Velocity Components for Aircraft (Airborne Axis Team)



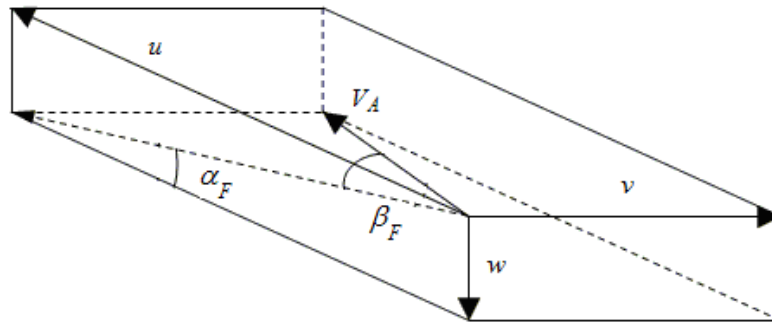


Figure 2. Attack and Swing Angles with Speed Components in an Air Vehicle

At the end of the linearization, the control vector consisting of the state vector consisting of 9 state variables and 4 control variables were found. Matrices A and B of the state-space model obtained can be given as follows. In order to find numerical values, it is necessary to trim the non-linear equations in the implematic form.

Table 1. State and Control Variables of Linearized Models

State variable	Quantity	Control variable	Quantity
$x_1$	$u$	$u_1$	$\delta_e$
$x_2$	$v$	$u_2$	$\delta_T$
$x_3$	$w$	$u_3$	$\delta_a$
$x_4$	$p$	$u_4$	$\delta_r$
$x_5$	$q$		
$x_6$	$r$		
$x_7$	$\phi_A$		
$x_8$	$\theta_A$		
$x_9$	$\Psi_A$		

Compared to the most general approach mentioned above, dynamic modeling of fixed-wing aircraft has been widely used in the literature. Longitudinal movement dynamics and lateral movement dynamics have little relationship with each other in fixed wing aircraft and this relationship is negligible. In addition, the movement of the vertical axis has little effect on the aircraft Dynamics (Yurt, 1995). Therefore, longitudinal and lateral movement can be examined independently of each other. In the equations 6 and 7, longitudinal and lateral state-space models are presented, respectively:

$$\underbrace{\begin{bmatrix} X_u & X_w & 0 & -g & 0 \\ Z_u & Z_w & u_0 & 0 & 0 \\ M_u + M_w Z_w & M_w + M_w Z_w & M_q + M_w u_0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\theta_0) & \cos(\theta_0) & 0 & -u_0 \cos(\theta_0) & 0 \end{bmatrix}}_{A_l} \mathbf{x}_l + \underbrace{\begin{bmatrix} X_{\delta_T} & X_{\delta_e} \\ Z_{\delta_T} & Z_{\delta_e} \\ M_{\delta_T} + M_w Z_{\delta_T} & M_{\delta_e} + M_w Z_{\delta_e} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}}_{B_l} \mathbf{u}_l \quad (6)$$

$$\dot{\mathbf{x}}_{la} = \begin{bmatrix} \Delta\dot{\beta} \\ \Delta\dot{p} \\ \Delta\dot{r} \\ \Delta\dot{\phi} \\ \Delta\dot{\psi} \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{Y_\beta}{u_0} & \frac{Y_p}{u_0} & -(1-\frac{Y_r}{u_0}) & -\frac{g}{u_0}\cos(\theta_0) & 0 \\ L_\beta^* + \frac{I_{xz}}{I_{xx}}N_\beta^* & L_p^* + \frac{I_{xz}}{I_{xx}}N_p^* & L_r^* + \frac{I_{xz}}{I_{xx}}N_r^* & 0 & 0 \\ N_v^* + \frac{I_{xz}}{I_{zz}}L_v^* & N_p^* + \frac{I_{xz}}{I_{zz}}L_p^* & N_r^* + \frac{I_{xz}}{I_{zz}}L_r^* & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sec(\theta_0) & 0 & 0 \end{bmatrix}}_{A_{la}} \mathbf{x}_{la} + \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & \frac{Y_{\delta_r}}{u_0} \\ L_{\delta_a}^* + \frac{I_{xz}}{I_{xx}}N_{\delta_a}^* & L_{\delta_r}^* + \frac{I_{xz}}{I_x}N_{\delta_r}^* \\ N_{\delta_a}^* + \frac{I_{xz}}{I_{zz}}L_{\delta_a}^* & N_{\delta_r}^* + \frac{I_{xz}}{I_{zz}}L_{\delta_r}^* \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}}_{B_{la}} \mathbf{u}_{la}$$

(7)

Equations A and B matrices of state-space models equations 6 and 7 consist of stability derivatives. In order to achieve numerical models, these stability derivatives should be found. The relationships necessary to find these desired stability derivatives in Tables 2 and 2 are presented for longitudinal and lateral dynamic models, respectively.

Table 2. Longitudinal Stability Derivatives

$X_u = \frac{(-C_{D_u} - 2C_{D_0} + C_{T_u})QS}{mu_0}$	$X_w = \frac{-(C_{D_\alpha} - 2C_{L_0})QS}{mu_0}$	$Z_u = \frac{-(C_{L_u} + 2C_{L_0})QS}{mu_0}$	$Z_w = \frac{(C_{L_w} + 2C_{D_0})QS}{mu_0}$
$M_u = C_{m_u} \frac{(QS\bar{c})}{u_0 I_{yy}}$	$M_w = C_{m_\alpha} \frac{(QS\bar{c})}{u_0 I_{yy}}$	$M_{\dot{w}} = C_{m_{\dot{a}}} \frac{\bar{c}}{2u_0} \frac{(QS\bar{c})}{I_{yy}}$	$M_q = C_{m_q} \frac{\bar{c}}{2u_0} \frac{(QS\bar{c})}{I_{yy}}$
$X_{\delta_e} = 0$	$Z_{\delta_e} = C_{Z_{\delta_e}} \frac{QS}{m}$	$M_{\delta_e} = C_{m_{\delta_e}} \frac{QS\bar{c}}{I_{yy}}$	$X_{\delta_T} = \frac{\partial T}{\partial \delta_T} \frac{1}{m}$
$Z_{\delta_T} = 0$	$M_{\delta_T} = X_{\delta_T} z_T$		

Table 3. Lateral Stability Derivatives

$Y_\beta = \frac{QS}{m} C_{y_\beta}$	$Y_p = \frac{QSb}{2mu_0} C_{y_p}$	$Y_r = \frac{QSb}{2mu_0} C_{y_r}$	$L_\beta = \frac{QSb}{I_{xx}} C_{l_\beta}$
$L_p = \frac{QSb^2}{2I_{xx}u_0} C_{l_p}$	$L_r = \frac{QSb^2}{2I_{xx}u_0} C_{l_r}$	$N_\beta = \frac{QSb}{I_{zz}} C_{n_\beta}$	$N_p = \frac{QSb^2}{2I_{xx}u_0} C_{n_p}$
$N_r = \frac{QSb^2}{2I_{xx}u_0} C_{n_r}$	$L_{\delta_a} = \frac{QSb}{I_{xx}} C_{l_{\delta_a}}$	$N_{\delta_a} = \frac{QSb}{I_{zz}} C_{n_{\delta_a}}$	$L_{\delta_r} = \frac{QSb}{I_{xx}} C_{l_{\delta_r}}$
$N_{\delta_r} = \frac{QSb}{I_{zz}} C_{n_{\delta_r}}$			

Since real-time flight environments will always have atmospheric rains, this reality must be taken into account in the simulation environment in order to achieve convincing results. There are many approaches to modeling atmospheric turbulence in the literature. In this study, von-Karman turbulence modeling was considered because of its success in other studies. Table 4 and 5 show the power spectral densities of turbulent velocities and the transfer functions of showers, respectively, for Von-Karman turbulence modeling. In Equations 8 and 9, Von-Karman turbulence affects the simulation environment, while longitudinal and lateral state-space models are presented.

Table 4. Power Spectral Density of Turbulence Speeds

<b>Longitudinal</b>	$\Phi_{ug}(\omega) = \sigma_u^2 \frac{2L_u}{\pi V} \frac{1}{\left[1+(1.399L_u \frac{\omega}{V})^2\right]^{5/6}}$	$\Phi_{pg}(\omega) = \frac{\sigma_w^2}{VL_w} \frac{0.8 \left(\frac{\pi L_w}{4b}\right)^{1/3}}{1+\left(\frac{4b\omega}{\pi V}\right)^2}$
<b>Lateral</b>	$\Phi_{vg}(\omega) = \sigma_v^2 \frac{L_v}{\pi V} \frac{1+\frac{8}{3}\left(1.399L_v \frac{\omega}{V}\right)^2}{\left[1+(1.399L_v \frac{\omega}{V})^2\right]^{11/6}}$	$\Phi_{rg}(\omega) = \frac{\mp \left(\frac{\omega}{V}\right)^2}{1+\left(\frac{3b\omega}{\pi V}\right)^2} \Phi_{vg}(\omega)$
<b>Vertical</b>	$\Phi_{wg}(\omega) = \sigma_w^2 \frac{L_w}{\pi V} \frac{1+\frac{8}{3}\left(1.399L_w \frac{\omega}{V}\right)^2}{\left[1+(1.399L_w \frac{\omega}{V})^2\right]^{11/6}}$	$\Phi_{qg}(\omega) = \frac{\pm \left(\frac{\omega}{V}\right)^2}{1+\left(\frac{4b\omega}{\pi V}\right)^2} \Phi_{wg}(\omega)$

Table 5. Transfer Functions of Von Karman

<b>Longitudinal</b>	$H_u(s) = \frac{\sigma_u \sqrt{\frac{2L_u}{\pi V}} \left(1+0.25 \frac{L_u}{V} s\right)}{1+1.357 \frac{L_u}{V} s+0.1987 \left(\frac{L_u}{V}\right)^2 s^2}$	$H_p(s) = \sigma_w \sqrt{\frac{0.8}{V}} \frac{\left(\frac{\pi}{4b}\right)^{1/6}}{L_w \left(1+\left(\frac{4b}{\pi V}\right)s\right)}$
<b>Lateral</b>	$H_v(s) = \frac{\sigma_v \sqrt{\frac{1L_v}{\pi V}} \left(1+2.7478 \frac{L_v}{V} s+0.3398 \left(\frac{L_v}{V}\right)^2 s^2\right)}{1+2.9958 \frac{L_v}{V} s+1.9754 \left(\frac{L_v}{V}\right)^2 s^2+0.1539 \left(\frac{L_v}{V}\right)^3 s^3}$	$H_r(s) = \frac{\mp \frac{s}{V}}{\left(1+\left(\frac{3b}{\pi V}\right)s\right)} H_v(s)$
<b>Vertical</b>	$H_w(s) = \frac{\sigma_w \sqrt{\frac{1L_w}{\pi V}} \left(1+2.7478 \frac{L_w}{V} s+0.3398 \left(\frac{L_w}{V}\right)^2 s^2\right)}{1+2.9958 \frac{L_w}{V} s+1.9754 \left(\frac{L_w}{V}\right)^2 s^2+0.1539 \left(\frac{L_w}{V}\right)^3 s^3}$	$H_q(s) = \frac{\pm \frac{s}{V}}{\left(1+\left(\frac{4b}{\pi V}\right)s\right)} H_w(s)$

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} \dot{x}_l \\ \Delta \dot{u} \\ \Delta \dot{w} \\ \Delta \dot{q} \\ \Delta \dot{\theta} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} X_u & X_w & 0 & -g \\ Z_u & Z_w & u_0 & 0 \\ M_u + M_{\dot{w}} Z_w & M_w + M_{\dot{w}} Z_w & M_q + M_{\dot{w}} u_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_l \\ \Delta u \\ \Delta w \\ \Delta q \\ \Delta \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_{\delta_T} & X_{\delta_e} \\ Z_{\delta_T} & Z_{\delta_e} \\ M_{\delta_T} + M_{\dot{w}} Z_{\delta_T} & M_{\delta_e} + M_{\dot{w}} Z_{\delta_e} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_l \\ \Delta \delta_T \\ \Delta \delta_e \end{bmatrix} \\
 &+ \begin{bmatrix} -X_u & -X_w & 0 \\ -Z_u & -Z_w & 0 \\ -M_u & -M_w & -M_q \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_g \\ w_g \\ q_g \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{8}$$

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} \dot{x}_{la} \\ \Delta \dot{\beta} \\ \Delta \dot{p} \\ \Delta \dot{r} \\ \Delta \dot{\phi} \end{bmatrix} &= \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{Y_{\beta}}{u_0} & \frac{Y_p}{u_0} & -(1 - \frac{Y_r}{u_0}) & -\frac{g}{u_0} \cos(\theta_0) \\ L_{\beta}^* + \frac{I_{xz}}{I_{xx}} N_{\beta}^* & L_p^* + \frac{I_{xz}}{I_{xx}} N_p^* & L_r^* + \frac{I_{xz}}{I_{xx}} N_r^* & 0 \\ N_v^* + \frac{I_{xz}}{I_{zz}} L_v^* & N_p^* + \frac{I_{xz}}{I_{zz}} L_p^* & N_r^* + \frac{I_{xz}}{I_{zz}} L_r^* & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}}_{A_a} \begin{bmatrix} x_{la} \\ \Delta \beta \\ \Delta p \\ \Delta r \\ \Delta \phi \end{bmatrix} + \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & \frac{Y_{\delta_r}}{u_0} \\ L_{\delta_a}^* + \frac{I_{xz}}{I_{xx}} N_{\delta_a}^* & L_{\delta_r}^* + \frac{I_{xz}}{I_x} N_{\delta_r}^* \\ N_{\delta_a}^* + \frac{I_{xz}}{I_{zz}} L_{\delta_a}^* & N_{\delta_r}^* + \frac{I_{xz}}{I_{zz}} L_{\delta_r}^* \\ 0 & 0 \end{bmatrix}}_{B_a} \begin{bmatrix} u_{la} \\ \Delta \delta_a \\ \Delta \delta_r \end{bmatrix} \\
 + \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{Y_{\beta}}{u_0} & 0 & 0 \\ -L_{\beta}^* - \frac{I_{xz}}{I_{xx}} N_{\beta}^* & -L_p^* - \frac{I_{xz}}{I_{xx}} N_p^* & -L_r^* - \frac{I_{xz}}{I_{xx}} N_r^* \\ -N_v^* - \frac{I_{xz}}{I_{zz}} L_v^* & -N_p^* - \frac{I_{xz}}{I_{zz}} L_p^* & -N_r^* - \frac{I_{xz}}{I_{zz}} L_r^* \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}}_{B_{la_{gust}}} \begin{bmatrix} v_g / u_0 \\ p_g \\ r_g \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{9}$$

By examining the eigenvalues of state-space models obtained as a result of dynamic modeling, the accuracy of the models we create can be decided. In this manner, longitudinal and lateral flight modes are given in Figures 3 respectively. In the literature UAV's flight dynamics modalities show qualitative and quantitative similarities with the flight dynamics of other similar small UAVs. For this reason, our dynamic modeling process can be claimed to be true.

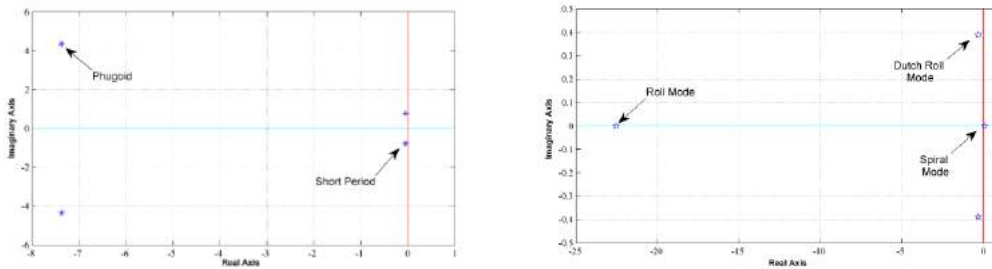


Figure 3. Longitudinal and Lateral Motion Modes of UAV

### 2.2. ANFIS Based Fuzzy Controller Design

ANFIS with fuzzy controller; fuzzy logic is the combination of expert knowledge and ability to draw conclusions, as well as the ability to compute and learn artificial neural networks in parallel. As a result, neural fuzzy systems make artificial neural networks more understandable (Jang, 1993).

In this study, a new controller approach based on fuzzy logic is proposed. Four data sets, PID control inputs and control sign, have been obtained for the design of the proposed controller. These data sets have been used to train the fuzzy controller in the ANFIS environment. The 452x4 size data set has been used for network training. In the design, a total of 9 membership functions have been created for each of the three membership functions, namely Small (S), Medium (M) and Large (L). The network is trained using the hybrid method and “0” error tolerance. There are 30 nodes in the ANFIS structure. A total of 12 linear and 18 non-linear 30 parameters were used. There are 3 rules in the training, which uses the Sugeno type fuzzy inference method. The structure of the artificial neural network is seen in Figure 4.

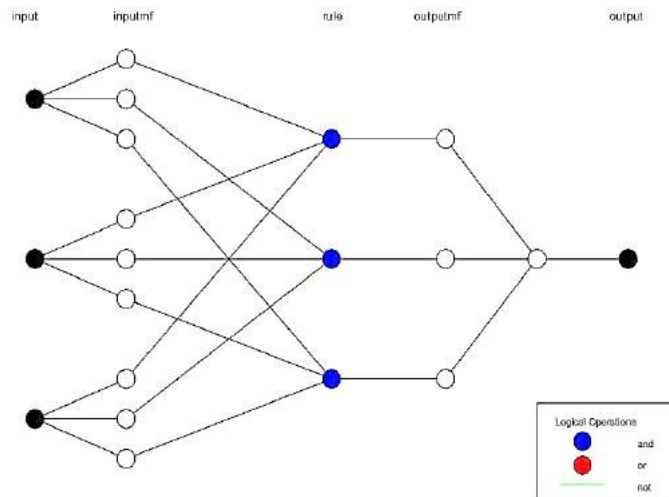


Figure 4. ANFIS Structure

ANFIS training, using 2547 data sets for training and testing, is supported by the test results and is shown in Figure 5. As a result of the training, 0.030893 error value was obtained in 2nd Epoch and the training was completed. There was a significant overlap in education and test data. In this context, it can be said that the number of data used is enough for ANFIS training.

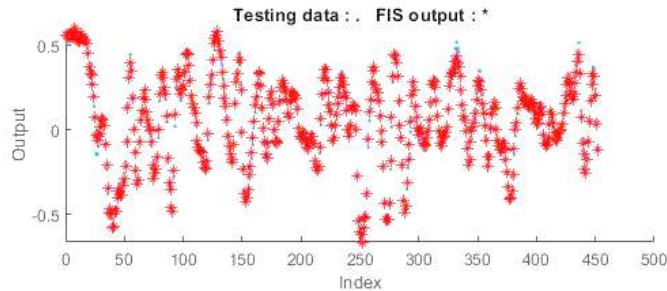


Figure 5. ANFIS Test Results

### 3. Results and Discussion

Autopilot systems attempt to track a pitch angle of 3 degrees to the UAV. 3 degree pitch angle tracking in longitudinal motion and closed-loop responses of some longitudinal state variables during this trajectory tracking and also closed-loop response of the elevator surface with longitudinal motion are presented in Figure 4. It is seen that the UAV longitudinal autopilot system has successfully followed the desired trajectory, and also other state variables and control surface did not show excessive behavior. The initial P, I and D values of the longitudinal motion controllers are 50, 5, 50 respectively. 11. Iteration, the new longitudinal values as a result of improvement work:  $K_p$ : 25.525,  $K_i$ : 7.2335 and  $K_d$ : 30.8425.



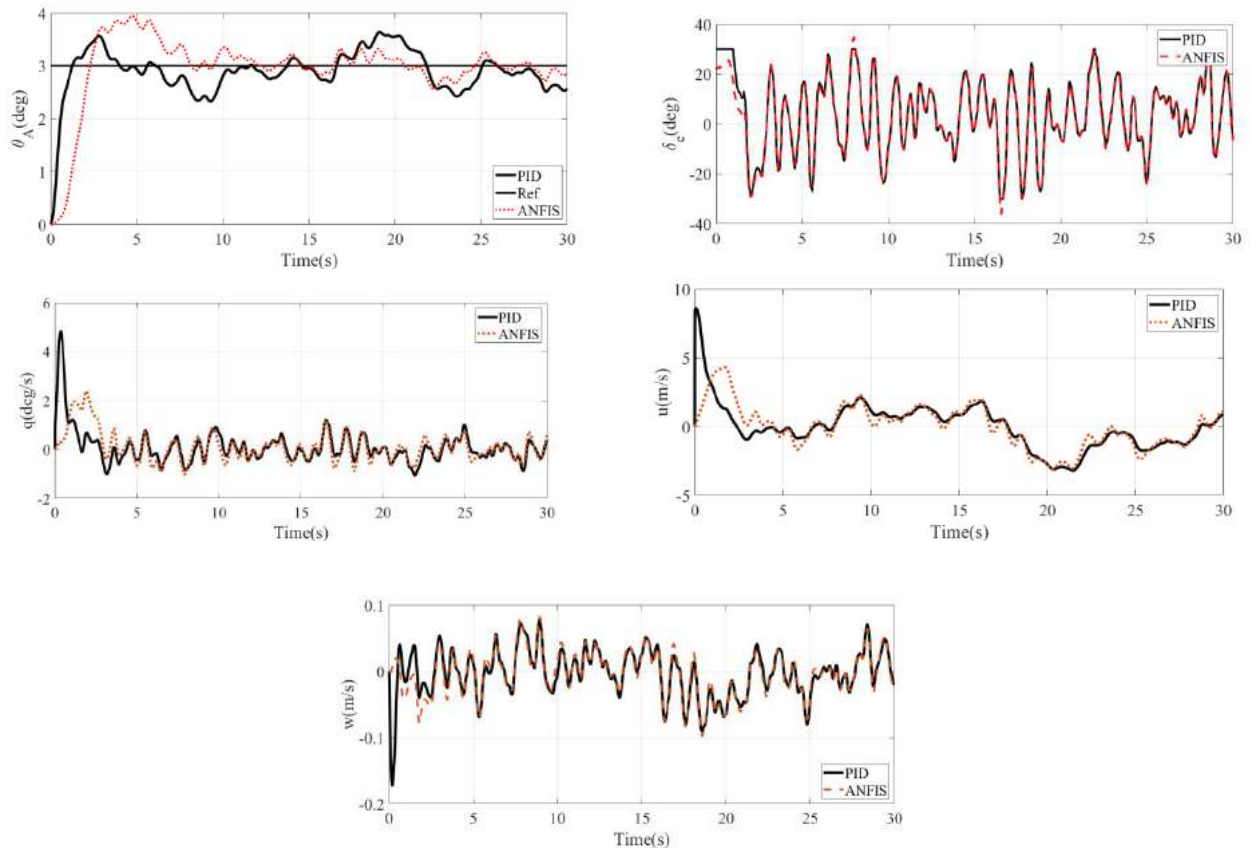


Figure 4. Closed Loop Responses of Longitudinal Motion

Block Diagram of the longitudinal motion is given in Figure 5.

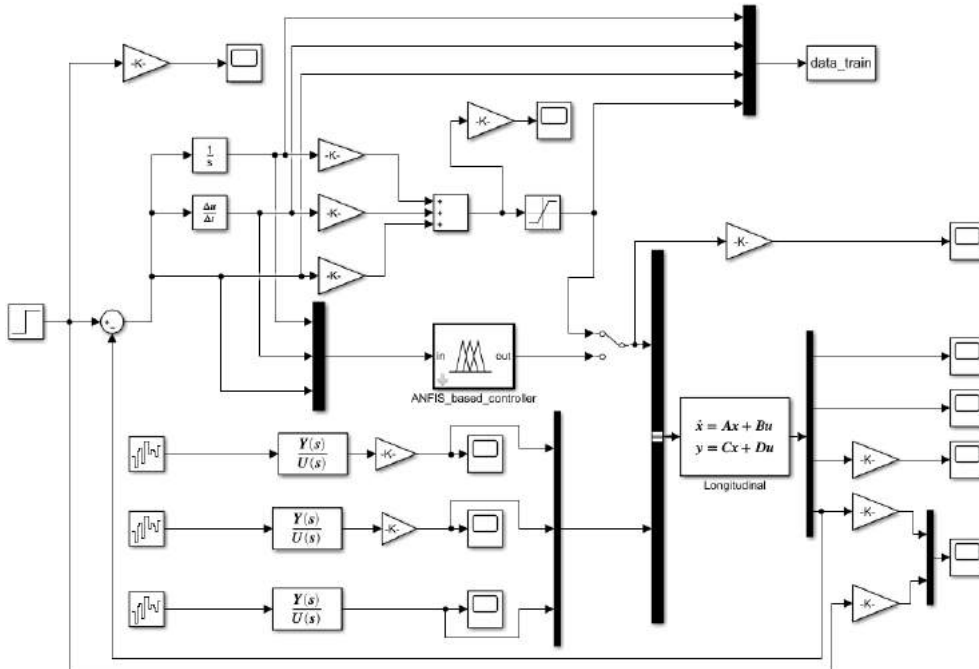


Figure 5. Block Diagram of the Longitudinal and Lateral Motion

## 4. Conclusions and Recommendations

A data set is needed when designing the controller with ANFIS. For this reason, PID controller was designed by using an environment. PID control application data were used as educational data in ANFIS environment. A new approach has been introduced to the Fuzzy controller with the controller designed to eliminate the negative effects of linear acceptances and the negative effects of disruptors when modeling the system. Successful simulation and system performance results in system control are verified by graphs in simulation studies. Values of a vehicle used as UAV, which is close to the desired dimensions and which are used in various researches, were determined and the stability values were examined with the help of state equations over these linearized values. Using the classical method, the longitudinal pitch angle, altitude and speed controller are designed for separate transfer functions according to the location curve of the roots and the desired response values. The values were determined by considering the effects of P, I and D and the response of the system together. On the other hand, a feedback design has been designed to improve the stability of different lines and an orientation controller has been designed. Another method used was Adaptive Network Based Fuzzy Inference Systems (ANFIS) controller design. The value ranges and numbers of the input and output membership functions are tried to be determined by some predicted and known values. Arrangements for input and output coefficients were made and the results were tried to be improved.

In this study, unmanned aerial vehicle with 6 degrees of freedom has been modeled and PID controller design which is one of the classical control methods for the modeled system has been designed. The application data for fuzzy logic controller design were obtained from the controller designed in the simulation environment. While fuzzy controller design is a long and demanding process, fuzzy controller design has been made quickly and efficiently with the application data obtained. With the fuzzy logic controller, which is preferred in the control of nonlinear systems, system behaviors due to non-linearity of the system have been tried to be reduced. As a result, ANFIS based fuzzy controller can be an effective controller when sufficient information about the system is obtained.

## References

- Bilgiç, H. H., Şen, M. A., Yapıcı, A., & Kalyoncu, M. (2014). Doğrusal Ters Sarkaçın Denge Kontrolü İçin Yapay Sinir Ağı Tabanlı Bulanık Mantık & LQR Kontrolcü Tasarımı. *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı-(TOK 2014)(Poster)*, *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı Bildiriler Kitabı*, 921-926.
- Bilgiç, H. H., Sen, M. A., & Kalyoncu, M. (2016). Tuning of LQR controller for an experimental inverted pendulum system based on The Bees Algorithm. *Journal of Vibroengineering*, *18*(6), 3684-3694.
- Christiansen, R. (2004). *Design of an autopilot for small unmanned air vehicles* (Doctoral dissertation, Master's thesis, Brigham Young University, Utah).
- Coban, S., & Oktay, T. (2017). A Review Of Tactical Unmanned Aerial Vehicle Design Studies. *The Eurasia Proceedings of Science, Technology, Engineering & Mathematics*, *1*, 30-35.
- ÇOBAN, S., & OKTAY, T. (2018). Simultaneous Design of a Small UAV (Unmanned Aerial Vehicle) Flight Control System and Lateral State Space Model. *Journal of Aviation*, *2*(2), 70-76.
- Etkin, B., & Reid, L. D. (1996). *Solutions Manual to Accompany Dynamics of Flight: Stability and Control*. Wiley.
- Fahlstrom, P. G., & Gleason, T. J. (1998). Introduction to UAV Systems, UAV Systems. Inc., Columbia, MD.
- Jang, J. S. (1993). ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, *23*(3), 665-685.
- Kumon, M., Nagata, M., Kohzawa, R., Mizumoto, I., & Iwai, Z. (2006). Flight path control of small unmanned air vehicle. *Journal of Field Robotics*, *23*(3-4), 223-244.
- Kinoshita, T., & Imado, F. (2006, June). A study on the optimal flight control for an autonomous UAV. In *2006 International Conference on Mechatronics and Automation* (pp. 996-1001). IEEE.
- López, J., Dormido, R., Gomez, J. P., Dormido, S., & Diaz, J. M. (2007, July). Comparison of  $H_\infty$  with QFT Applied to an Altitude Command Tracker for an UAV. In *2007 European Control Conference (ECC)* (pp. 315-321). IEEE.
- Duarte-Mermoud, M. A., Rioseco, J. S., & González, R. I. (2005). Control of longitudinal movement of a plane using combined model reference adaptive control. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, *77*(3), 199-213.
- Nelson, R. C. (1998). *Flight stability and automatic control* (Vol. 2, p. 105). New York: WCB/McGraw Hill.
- Şen, M. A., Bilgiç, H. H., & Kalyoncu, M. (2016). ÇİFT TERS SARKAÇ SİSTEMİNİN DENGE VE KONUM KONTROLÜ İÇİN ARI ALGORİTMASI İLE LQR KONTROLÇÜ PARAMETRELERİNİN TAYİNİ. *Engineer & the Machinery Magazine*, *57*(679).
- Vural, S. Y. and Hajiyev, C. (2008). *Autopilot system design for a small unmanned aerial vehicle*. MS Thesis, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey.
- Yechout, T. R., Morris, S. L., Bossert, D. E., & Hallgren, W. F. (2003). Introduction to Aircraft Flight Mechanics: Performance. *Static Stability, Dynamic Stability, and Classical Feedback Control*, *AIAA Education Series*, Virginia, USA.
- Yurt, S. N. (1995). *İnsansız Hava Aracı için bir borda bilgisayar mimarisi ve tasarımı* (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul).



# The Effects of Initial $y plus$ : Numerical Analysis of 3D NACA 4412 Wing Using $\gamma-Re_{\theta}$ SST Turbulence Model

Durmuş Sinan Körpe<sup>1</sup>, Özdemir Öztürk Kanat<sup>2\*</sup>, Tuğrul Oktay<sup>3</sup>

<sup>1</sup> University of Turkish Aeronautical Association, Aeronautical Engineering, Ankara, Turkey (ORCID: 0000-0002-7968-4999)

<sup>2</sup> Kastamonu University, School of Civil Aviation, Department of Airframe and Powerplant Maintenance, Kastamonu, Turkey (ORCID: 0000-0001-7914-0871)

<sup>3</sup> Erciyes University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Aeronautical Engineering, Kayseri, Turkey (ORCID: 0000 0003 4860 2230)

(İlk Geliş Tarihi 8 Ekim 2019 ve Kabul Tarihi 7 Kasım 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.631135)

**ATIF/REFERENCE:** Körpe, D. S., Kanat, Ö. Ö. & Oktay, T. (2019). The Effects of Initial  $y plus$ : Numerical Analysis of 3D NACA 4412 Wing Using  $\gamma-Re_{\theta}$  SST Turbulence Model. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 692-702.

## Abstract

In this numerical study, the effects of the initial  $y plus$ , which is a dimensionless wall distance, on the results of aerodynamic coefficients of designed a wing using NACA 4412 airfoil are investigated. For this purpose, the wing is designed and external flow analysis is carried out according to constant altitude. ANSYS Fluent, which is a Computational Fluid Dynamics (i.e. CFD) program and solves the problems according to the Finite Volume Method (i.e. FVM), is used for external flow analysis. Pressure-based method is used for numerical studies. Thus, the differences of coefficients on the wall, which are the results of the change in the *initial  $y plus$* , are calculated ideally. Because of one of the best methods to solve the problems on transition zone,  $\gamma-Re_{\theta}$  SST turbulence model is used for this study. Using this model for each analysis, first element heights (i.e. the distance to the nearest wall) are calculated according to 9 different  $y plus$  (i.e. 1, 5, 10, 30, 45, 60, 75, 90, 105). According to the first element heights, the inflation layers are created on the wing and the 3D control volumes are formed along the boundary region. To be more comprehensible, orthogonal quality-skewness values, expressing the quality of control volumes, are presented for each boundary. The changes in lift coefficients and drag coefficients on the same wing according to these 9 different  $y plus$  are presented numerically. In addition, obtained results are evaluated and as described in the literature, it is observed that to calculate the aerodynamic forces with the  $\gamma-Re_{\theta}$  SST turbulence model is directly proportional to the *initial  $y plus$* . As a consequence, this paper demonstrates that there are obvious differences detection of separation and determination of reattach region of flow occurring on the wing according to the *initial  $y plus$* .

**Keywords:**  $y plus$ ,  $\gamma-Re_{\theta}$  SST, Computational Fluid Dynamics, ANSYS Fluent.

## Başlangıç $y plus$ Değerinin Etkileri: $\gamma-Re_{\theta}$ SST Türbülans Modeli Kullanılarak 3D NACA 4412 Kanadının Sayısal Analizi

### Öz

Bu sayısal çalışmada, boyutsuz bir kavram olan  $y plus$  değerinin NACA 4412 kanat profili kullanılarak tasarlanmış olan bir kanadın aerodinamik katsayı sonuçları üzerine olan etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, bir kanat tasarlanmış ve dış akış analizi sabit irtifa değerine göre yürütülmüştür. Bu dış akış analizleri için, bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) programı olan ve sonlu hacim metoduna göre problemleri çözen ANSYS Fluent programı kullanılmıştır. Sayısal çalışma için basınç-tabanlı metottan yararlanılmıştır. Böylelikle başlangıç  $y plus$  değerindeki değişimlerin bir sonucu olarak meydana gelen duvar üzerindeki katsayı farklılıkları en iyi şekilde

\* Sorumlu Yazar: Kastamonu University, School of Civil Aviation, Department of Airframe and Powerplant Maintenance, Kastamonu, Turkey, ORCID: 0000-0001-7914-0871, [ozturkkanat@gmail.com](mailto:ozturkkanat@gmail.com)

hesaplanabilmiştir. Laminer-türbülanslı akış geçişlerinin olduğu akış problemlerini çözen en iyi modellerden biri olması nedeniyle bu çalışmada  $\gamma-Re_\theta$  SST türbülans modeli kullanılmıştır. 9 farklı  $y plus$  (1, 5, 10, 30, 45, 60, 75, 90, 105) değeri için duvar üzerindeki ilk eleman yükseklikleri (duvar üzerindeki en yakın katman) hesaplanmıştır. Bu ilk eleman yüksekliğine göre kanat üzerinde inflation katmanları ile hesap bölgesi boyunca 3 boyutlu kontrol hacimleri oluşturulmuştur. Daha anlaşılabilir olması için, her bir hesap bölgesi için oluşturulan kontrol hacimlerinin kalitesini ifade eden ortogonal kalite ile eğrilik değerleri sunulmuştur. Aynı kanat üzerindeki bu 9 farklı  $y plus$  değerine göre taşıma ve sürüklenme katsayılarındaki değişimler grafiksel olarak belirtilmiştir. Bunlarla birlikte, elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve literatürde de belirtildiği gibi  $\gamma-Re_\theta$  SST modeli kullanılarak aerodinamik kuvvetlerin hesaplanabilmesinin, başlangıç  $y plus$  değeri ile doğrudan orantılı olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, kanat üzerinde meydana gelen akış ayrılmalarının tespitinde ve akışın tekrar tutunmasının belirlenmesinde başlangıç  $y plus$  değerine bağlı olarak belirgin farklılıkların olduğu bu çalışma ile ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:**  $y plus$ ,  $\gamma-Re_\theta$  SST, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, ANSYS Fluent.

## 1. Introduction

The CFD system is applied by solving the basic fluid dynamics equations using a limited number of solution elements and finally applying them to the whole flow volume. One of the most accurate approach to achieving realistic results is the comparative application of numerical and experimental methods. CFD is a branch of fluid mechanics, where problems with fluid behavior are fundamentally solved and analyzed on the computer by numerical methods and algorithms. Moreover, it is an excellent method for complex flow analysis; however, there is a need for knowledge and experience to create digital network structures, define true boundary conditions and interpret results. CFD solution is a very good way to make analysis which are costly to be analysed experimentally. While laminar flow solutions are less complicated with CFD, to solve turbulent flows different turbulence models should be applied. Many factors can affect the accuracy of the results obtained with CFD. Examples of these are the proper formation of geometry, the grids being sufficient and compatible with each other, and the use of appropriate flow methods (Kanat et al., 2017). Jansson et al. (Jansson et al., 2012) used CFD method to simulate NACA 0012 wing profile. They used FVM to calculate aerodynamic forces for a range of angles of attack. At least, they compared the results to validate with experimental data. They mentioned that the CFD simulation had captured dramatically the stall region.

$\gamma-Re_\theta$  SST model for transition prediction uses a local correlation-based approach. There are also two transport equations in the model (Langtry & Menter, 2009). These are; one for intermittency and one for the transition onset criterion in terms of momentum-thickness Reynolds number. Langtry and Menter (Langtry et al., 2015) first expressed the full formulation of the model in 2009. This model has had a wide range of applications both academically and industrially in the following years.

Korpe and Kanat (Korpe and Kanat, 2019) analysed the flow around a wing that has NACA 4412 airfoil in their study. They calculated the lift and drag coefficients of this wing, which they designed, at different angle of attack. They used two different numerical analysis programs in order to obtain the results. These are solver based on nonlinear lifting-line theory implemented into XLF5 and ANSYS-Fluent. They used  $\gamma-Re_\theta$  SST as the turbulence model in ANSYS-Fluent program. When they compared their results, they stated that there was conformity. A wing of the same size was created using the NACA 4412 profile in a similar manner by reference to this work. Thus, the accuracy of CFD results can be compared.

Steed (Steed, 2011) used a NASA Trapezoidal Wing model in his study. The researcher used SST based laminar to transition model and compared the results with both fully turbulent SST and wind tunnel results. He stated that  $y plus$  should be less than 1 in order to obtain accurate results with transition model. In summary, he stated that the  $\gamma-Re_\theta$  SST transition turbulence model was in good agreement with experimental data. Aftab et al. (Aftab et al., 2016) tried to capture the laminar separation bubble in their study using the NACA 4415 profile for a low Reynolds number flow. Reynolds number was set to 120,000. One equation Spallart Allmars, two equation  $k\omega$  SST, three equation intermittency ( $\gamma$ ) SST,  $k-kl-\omega$  and the four equation transition  $\gamma-Re_\theta$  SST in total 5 different turbulence model hev been tested. When comparing the results obtained using these models with each other and the experimental study, they stated that the best fit was achieved with the  $\gamma-Re_\theta$  SST model. They also emphasized that the correct turbulence model should be used in order to capture the transition behavior with the CFD study. In addition, they found that the  $\gamma-Re_\theta$  SST turbulence model can accurately and rapidly predict flow behavior for both low angle of attack and high angle of attack.

In this research article, CFD approach is implemented in order to investigate the effect of *initial y plus* over the aerodynamic forces (i.e.  $C_L$  and  $C_D$ ). Furthermore, the effect of the turbulence model on the lift and drag coefficients according to the initial value of the first element height on the wall is focused.

## 2. Material and Method

### 2.1. $\gamma-Re_\theta$ SST Turbulence Model and $y Plus$

Due to the low Reynolds number,  $\gamma-Re_\theta$  SST turbulence model was used to accurately estimate the flow. This model is also sometimes known as the Langtry-Menter 4-equation transitional SST model or *gamma-Retheta-SST* model. The difference of this model from the  $k\omega$ -SST turbulence model is that the *gamma* and *Retheta* equations have also been added. The transport equation for the intermittency (i.e.  $\gamma$ ) is given as in Eqn. 1 (Menter et al., 2006).

$$\frac{\partial(\rho\gamma)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho U_j \gamma)}{\partial x_j} = P_{\gamma 1} - E_{\gamma 1} + P_{\gamma 2} - E_{\gamma 2} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\gamma} \right) \frac{\partial \gamma}{\partial x_j} \right] \quad (1)$$

For the transition momentum thickness Reynolds number (i.e.  $R\tilde{e}_{\theta t}$ ), the transport equation is defined as follows:

$$\frac{\partial(\rho R \tilde{e}_{\theta t})}{\partial t} + \frac{\partial(\rho U_j R \tilde{e}_{\theta t})}{\partial x_j} = P_{\theta t} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \sigma_{\theta t} (\mu + \mu_t) \frac{\partial R \tilde{e}_{\theta t}}{\partial x_j} \right] \quad (2)$$

Coupling of the transition model with *shear stress transport* (i.e. SST) kw by modification of *k*-equation is given as follows:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k^* - Y_k^* + S_k \quad (3)$$

$$G_k^* = \gamma_{eff} \tilde{G}_k \quad (4)$$

$$Y_k^* = \min(\max(\gamma_{eff}, 0.1), 1.0) Y_k \quad (5)$$

*Y plus* value is dimensionless and the formula is as follows (Nichols, 2010):

$$y plus = \frac{\vartheta^* y}{V} \quad (6)$$

In Eqn. 6, the *y* term is the distance of the viscous region on the wing or wall where the flow will be.  $\vartheta^*$  is the friction velocity, *V* is the kinematic viscosity. A desired *y plus* value is determined before starting the calculation and according to this, the first element height is calculated by using kinematic viscosity with friction velocity (Bredberg, 2000). The first element heights of the inflation layers were calculated based on this formula. In table 1, the characteristics of elements created by calculating the different first element heights according to the *y plus* value is given.

Table 1. The Cell Properties

Initial <i>y plus</i>	First Layer Height	Inflation Layers	Maximum Skewness	Minimum Orthogonal Quality	Elements
1 (Korpe and Kanat, 2019)	$1.5 \times 10^{-5}$	61	0.95	$2.9 \times 10^{-3}$	2 569 785
5	$7.6 \times 10^{-5}$	40	0.93	$1.3 \times 10^{-2}$	2 013 222
10	$1.5 \times 10^{-4}$	36	0.91	$2.4 \times 10^{-2}$	1 868 237
30	$4.4 \times 10^{-4}$	28	0.92	$9.2 \times 10^{-2}$	1 605 355
45	$6.7 \times 10^{-4}$	22	0.93	0.12	1 457 725
60	$9.1 \times 10^{-4}$	20	0.95	0.12	1 391 046
75	$1.1 \times 10^{-3}$	15	0.91	0.14	1 288 856
90	$1.4 \times 10^{-3}$	13	0.91	0.14	1 231 853
105	$1.6 \times 10^{-3}$	11	0.94	0.15	1 188 780

## 2.2. Geometry, Grid and Setup

For geometry, a 3-D solid model was first created using the NACA 4412 profile. In order to ensure independence from boundary around this model, a solution domain of approximately 30 times has been created (Thomas & Salas, 1986). Figure 1 shows the solution domain with the formed wing. While creating the solution domain, it has been paid attention that it is the optimum size. It is aimed to ensure independence from the designed domain and to ensure that the solution time is at minimum with optimum value.



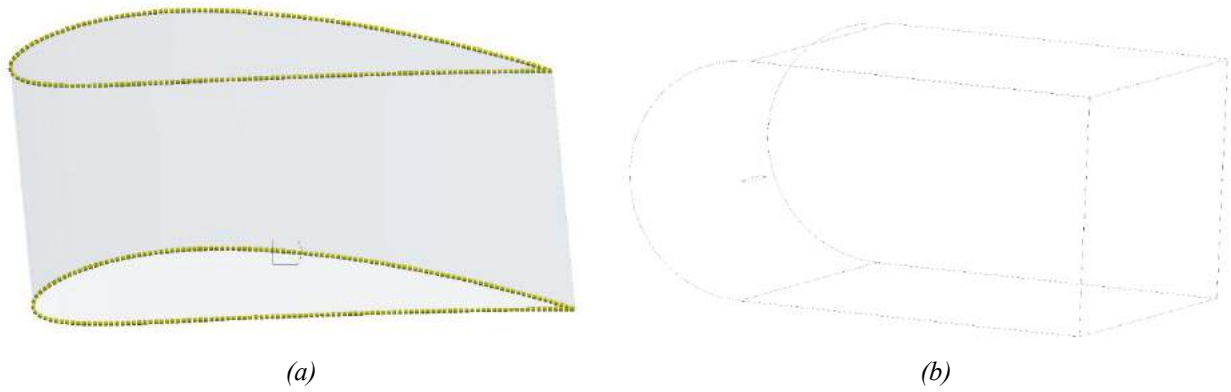


Figure 1. (a). Airfoil (b). Solution Domain

Another step that needs to be taken into consideration in order to get the correct results in the solution is control volumes. Due to the numerical analysis of the 3-dimensional shape, 3-dimensional cells have been created. Prism and inflation layers are used and therefore created cells are hybrid. For the accuracy of the results, volumetric compatibility is considered for the transition region after the last inflation layers.

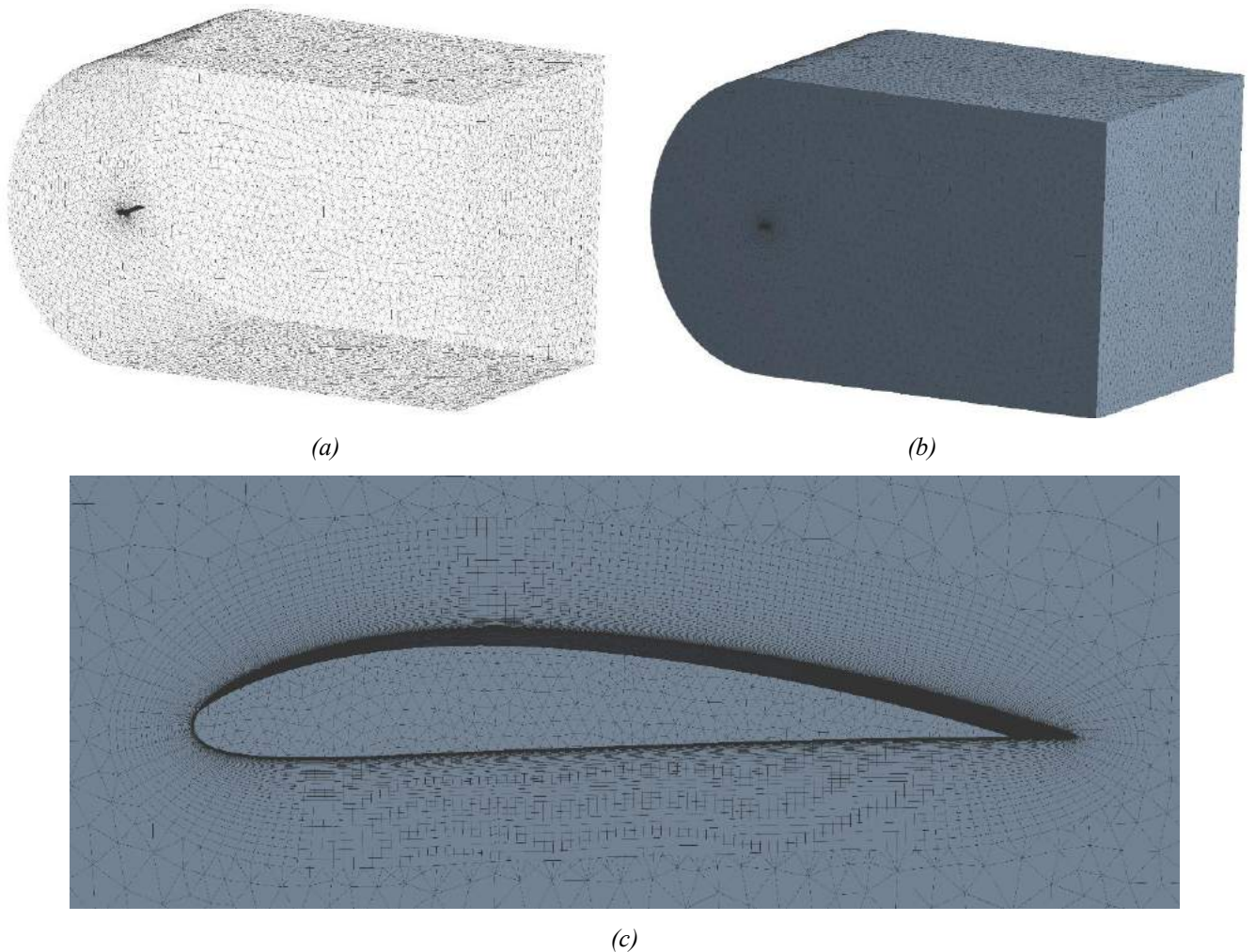


Figure 2. (a). Wireframe View (b). Control Volumes (c). Cells Around The Airfoil ( $y^+ = 1$ )

Another important criterion that is decisive in the solution is the turbulence model used for performing numerical analysis. In order to make a model decision, it is necessary to know whether the flow is turbulent or laminar flow. Whether the flow is laminar flow or turbulent can be determined by looking at the Reynolds number (Sinorri, 2014). The Reynolds number is defined as the ratio of the inertial forces of a fluid to the viscosity forces. For this reason, the Reynolds number of the flow was calculated as in Eqn. 9 by using Eqn. 7. Based on the result and taking into account Eqn. 8, it is a combination of laminar and turbulent flow (Bertin & Russell, 2014). In this study, air velocity is accepted as 22 m / s.

$$Re = \frac{\vartheta L \rho}{\mu} \quad (7)$$

$$3 \times 10^5 < Re < 3.5 \times 10^6 \quad (8)$$

$$Re = \frac{22 \times 0.45 \times 1.176}{1.7894 \times 10^{-5}} = 6.5 \times 10^5 \quad (9)$$

Each numerical analysis is calculated for 16 different angles of attack, -8, -6, -4, -2, 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22. At 1600 iterations the calculation is completed. This corresponds to a continuity value of  $10^{-4}$  for  $0^\circ$  angle of attack.

### 3. Results and Discussion

Figure 3 shows the lift coefficient ( $C_L$ ) results obtained from numerical analyzes performed using 9 different  $y plus$  values according to 16 different angle of attack. When these results are compared, it is seen that the changes in the *initial y plus* cause significant deviations over the results as the angle of attack increases. In addition, the changes in the stall angle of the wing (i.e.  $C_{Lmax}$ ) accordingly to this are support this situation. When  $y plus$  1 (Korpe and Kanat, 2019) results is evaluated, it is seen that the decrease in the lift coefficient of the wing starts at  $20^\circ$  angle of attack. According to the results, as  $y plus$  increases, the stall angle of the wing decreases to 14 degrees.

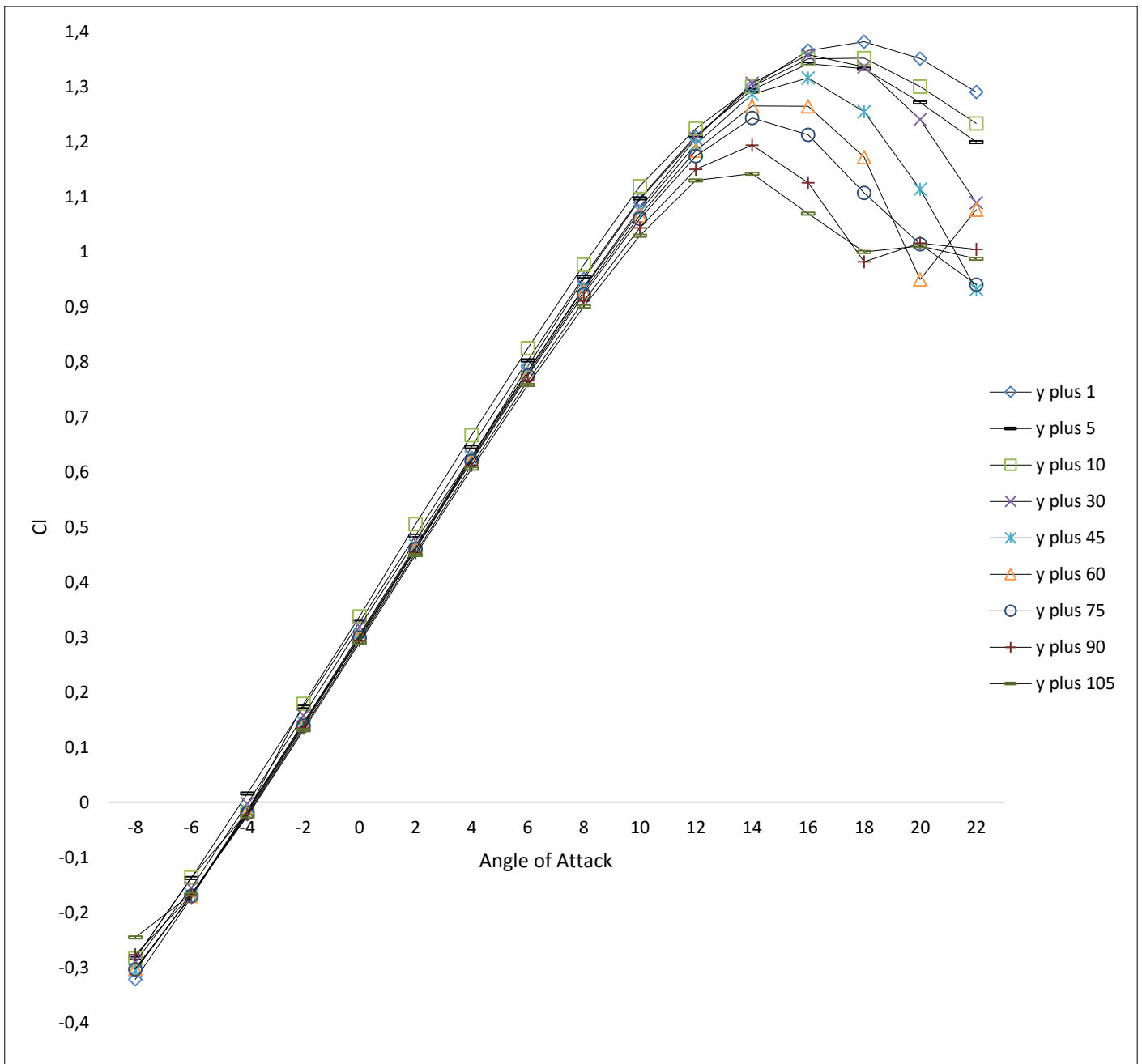


Figure 3.  $C_L$  Coefficients

When Figure 4 is evaluated, it is seen that there is a parallelism in the results obtained between  $-6^\circ$  angle of attack and  $12^\circ$  angle of attack. This parallelism changes at angles greater than  $12^\circ$  angle of attack and the calculated  $C_D$  coefficients show more differences. Similarly, the differences in the calculated  $C_D$  coefficients increase at the  $-8^\circ$  angle of attack. In short, the difference between the  $C_D$  coefficients calculated in a given range of angle of attack remains constant even if the *initial y plus* values are different.

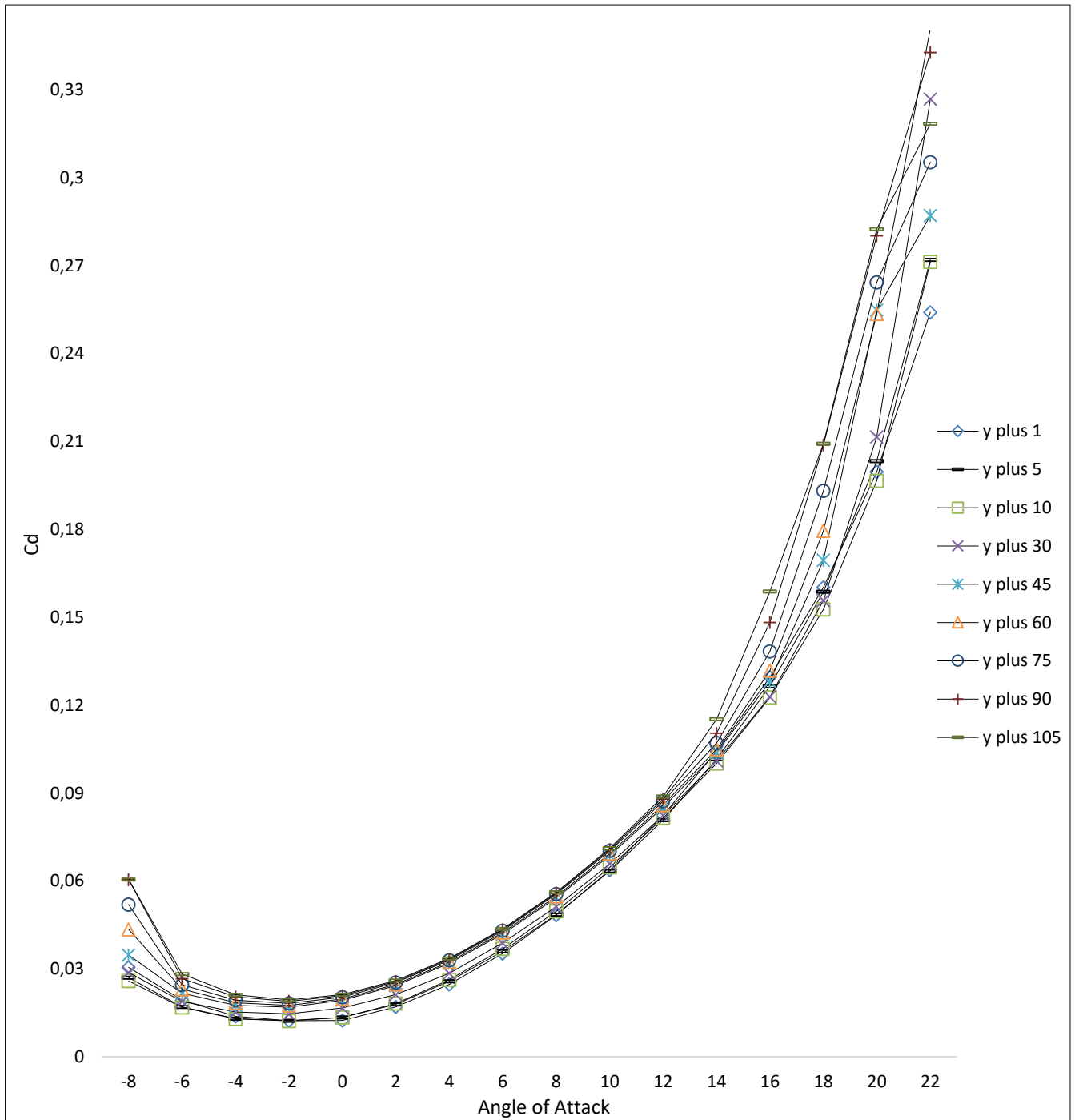
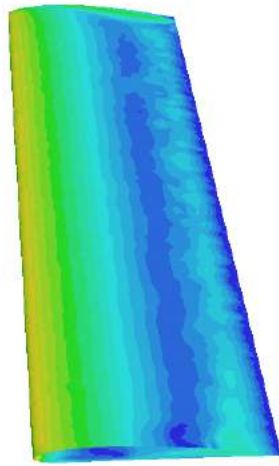
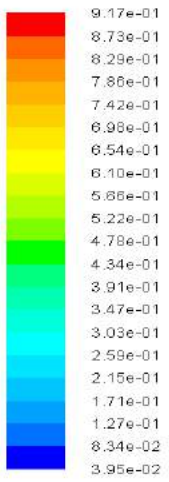
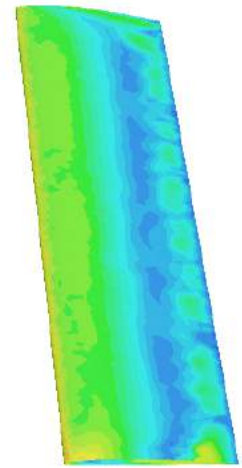
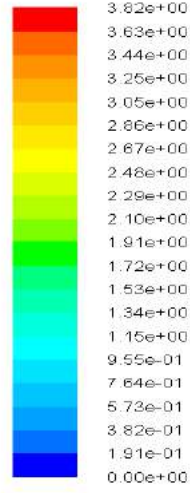


Figure 4.  $C_D$  Coefficients

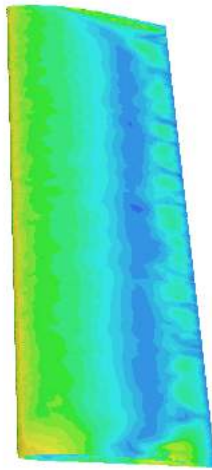
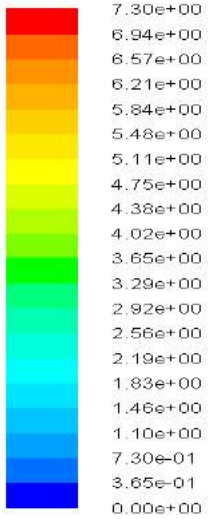
Figure 5 shows the *final y plus* contours obtained according to the *initial y plus*. As seen in the figure, all of the *final y plus* results were calculated using  $\gamma$ - $Re_\theta$  SST turbulence model as smaller than initial values. As the *y plus* value increases, the convergence on the wing decreases.



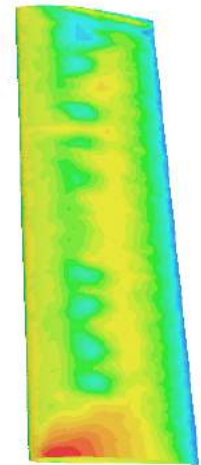
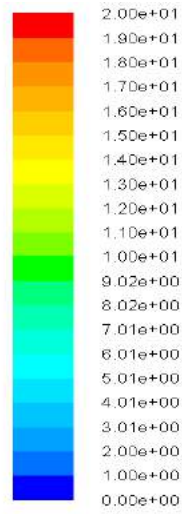
(a)



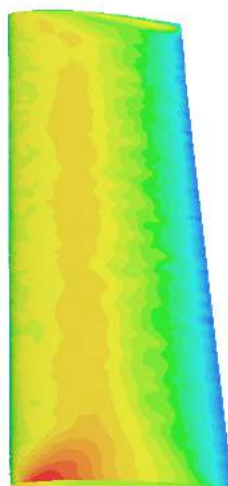
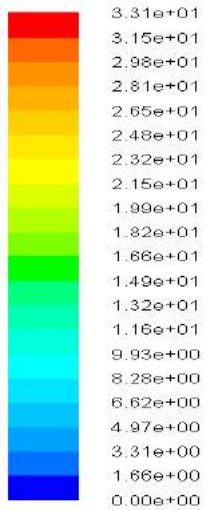
(b)



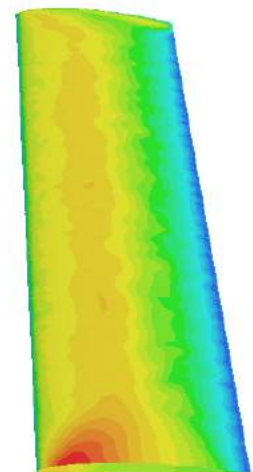
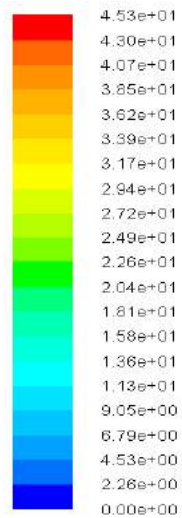
(c)



(d)



(e)



(f)



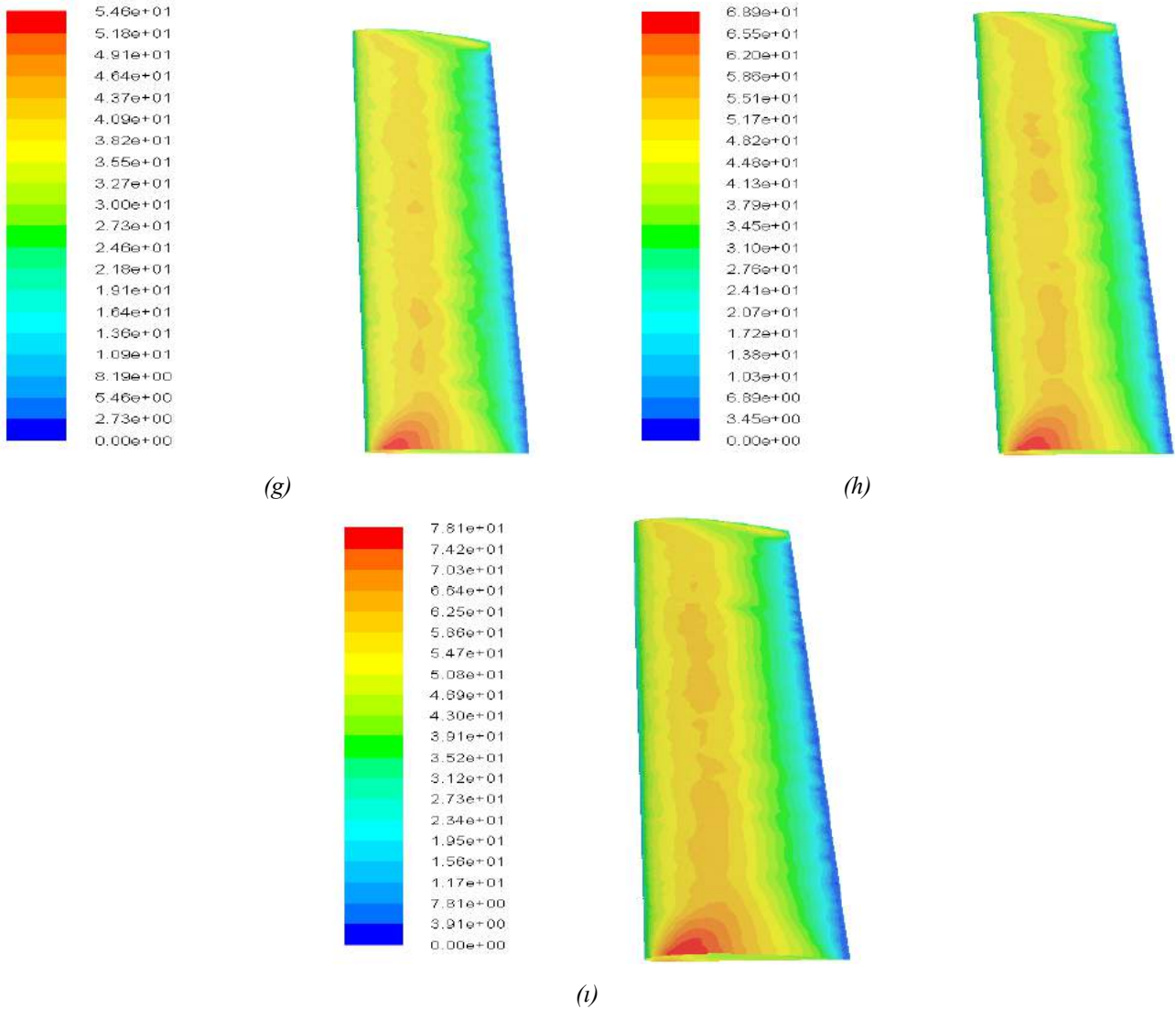
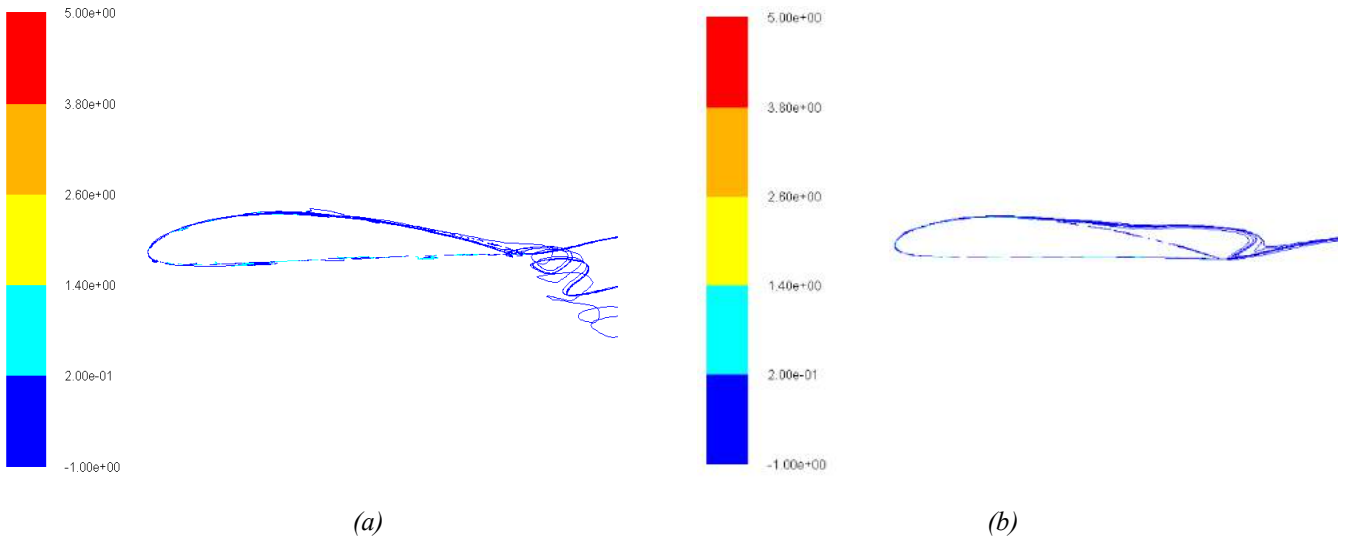
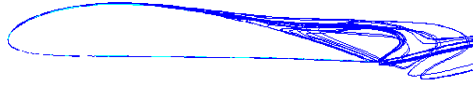
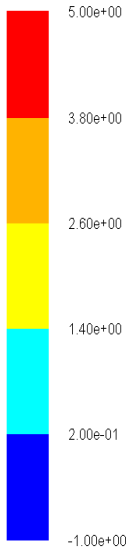


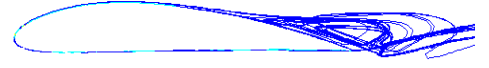
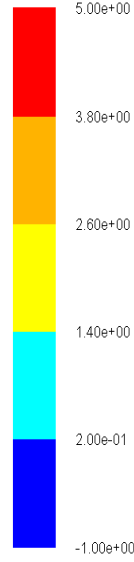
Figure 5. *y plus* Contours Respectively (a).1, (b).5, (c).10, (d).30, (e).45, (f).60, (g).75, (h).90, (i).105

Figure 6 depicts the X Wall Shear Stress views obtained for all *initial y plus* values at  $16^\circ$  angle of attack. The view is 2-dimensional. It is formed as a profile from the midpoint of the designed wing. When the two views are compared, the separation points on the wing are clearly visible. The results show that for numerical analysis to be more accurate convergence is possible with a smaller initial *y plus* (for smaller first element height). Accordingly, a slight separation is observed at about half of the wing chord length for *initial y plus*=1 after that it reattaches. A separation is observed again near the trailing edge. For bigger *initial y plus*, the separation on the wing begins earlier and nearly continues without reattach. This directly affects  $C_L$  and  $C_D$  results. Especially, the figure depicts no reattach region on the airfoil for *initial y plus* 90 and 105.

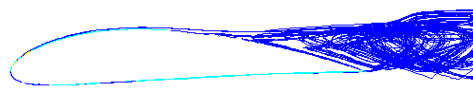
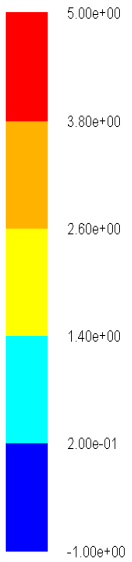




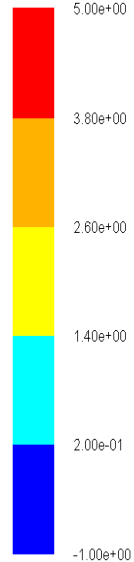
(c)



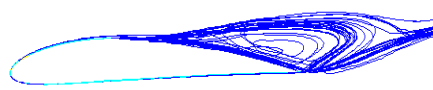
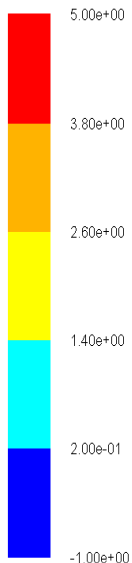
(d)



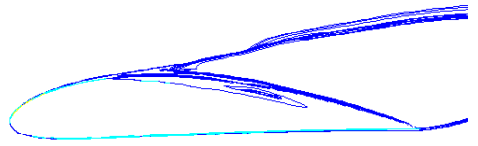
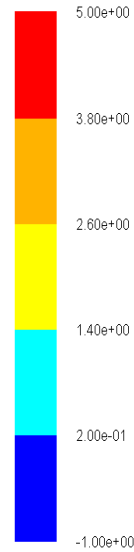
(e)



(f)



(g)



(h)

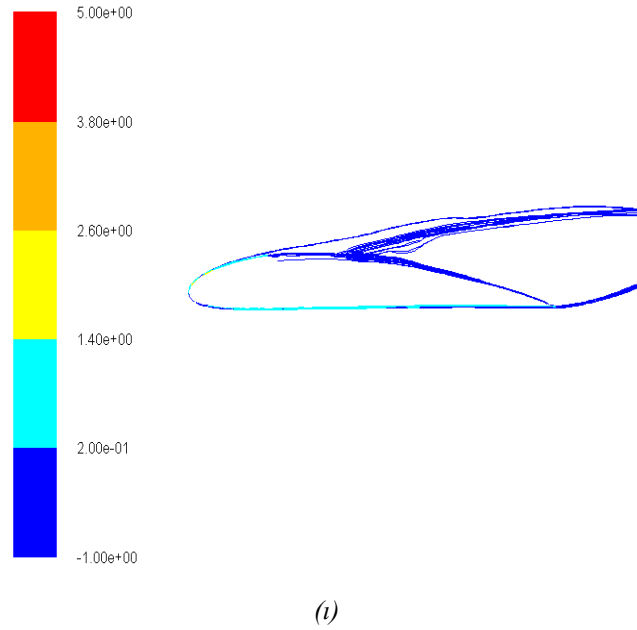


Figure 6. X Wall Shear Stress Pathlines (Pascal) At  $16^\circ$  Angle of Attack For  $y$  plus, Respectively (a).1, (b).5, (c).10, (d).30, (e).45, (f).60, (g).75, (h).90, (i).105

## 4. Conclusion

The effect of the *initial y plus* value is investigated for the  $C_L$  and  $C_D$  coefficients of a wing designed by using NACA 4412 airfoil with this study. The main contribution of this research article to the literature is to have evaluated correlation between aerodynamic forces and *initial y plus*. Differences in  $C_L$  and  $C_D$  coefficients calculated for different *initial y plus* using the same wing are expressed both visually and graphically. In addition to this the flow through the wing demonstrates differences. As the *initial y plus* decreases, the calculated separation region on the wing reach through the trailing edge of the wing. In particular, this paper demonstrates that there are obvious differences in both detection of separation and determination of reattach region of flow occurring on the wing at high angle of attack. As a results, these differences directly have effects of the calculation of aerodynamic forces.

## References

- Aftab, S. M. A., Rafie, A. M., Razak, N. A. & Ahmad, K. A. (2016). Turbulence Model Selection For Low Reynolds Number Flows. *PLoS one*, 11(4), e0153755.
- ANSYS Fluent Theory Guide, (2013).
- Bertin, J. J. & Russell, M. C. (2014). *Aerodynamics for Engineers Sixth Edition*, Pearson Education Limited, London.
- Bredberg, J. (2000). On the Wall Boundary Condition for Turbulence Models. Department of Thermo and Fluid Dynamics, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden (p. 21).
- Jansson, J., Hoffman, J., & Jansson, N. (2012). Simulation of 3d unsteady incompressible flow past a naca 0012 wing section.
- Kanat, O. O., Korpe, D. S. & Kurban, A. O. (2017). Yatay Kuyruklarda Kıvrık Kanat Ucu Kullanımının Aerodinamik Etkileri. *Journal of Aviation*, 1(2), 87-98.
- Körpe, D. S. & Kanat, Ö. Ö. (2019). Aerodynamic Optimization of a UAV Wing subject to Weight, Geometric, Root Bending Moment, and Performance Constraints. *International Journal of Aerospace Engineering*, 2019.
- Langtry, R. (2015). Extending the Gamma-Rethetat Correlation Based Transition Model for Crossflow Effects. In *45th AIAA fluid dynamics conference* (p. 2474).
- Langtry, R. B. & Menter, F. R. (2009). Correlation-based transition modeling for unstructured parallelized computational fluid dynamics codes. *AIAA journal*, 47(12), 2894-2906.
- Menter, F. R., Langtry, R. B., Likki, S. R., Suzen, Y. B., Huang, P. G. & Völker, S. (2006). A Correlation-Based Transition Model Using Local Variables—Part I: Model Formulation. *Journal of Turbomachinery*, 128(3), (p. 413).
- Nichols, R. H. (2010). Turbulence models and their application to complex flows. *University of Alabama at Birmingham, Revision*, 4, 89.
- Snorri, G. (2014). *General Aviation Aircraft Design: Applied Methods and Procedures*. Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier, USA.
- Steed, R. (2011). High Lift CFD Simulations With An SST-Based Predictive Laminar to Turbulent Transition Model. In *49th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition* (p. 864).
- Thomas, J.L. & Salas, M.D. (1986). Far-Field Boundary Conditions For Transonic Lifting Solutions to the Euler Equations. *AIAA Journal*, Vol. 24, No. 7, (p. 1074).



# Penisilin Grubu Antibiyotiklerin Ayrımı ve Penisilin V'nin Farmasötik ve İdrar Numunelerinde Analizi İçin Miseller Sıvı Kromatografi Yönteminin Geliştirilmesi ve Validasyonu

Gizem Yıldırım Baştemur<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4634-4525)

(İlk Geliş Tarihi 3 Ekim 2019 ve Kabul Tarihi 8 Kasım 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.628749)

**ATIF/REFERENCE:** Yıldırım Baştemur, G. (2019). Penisilin Grubu Antibiyotiklerin Ayrımı ve Penisilin V'nin Farmasötik ve İdrar Numunelerinde Analizi İçin Miseller Sıvı Kromatografi Yönteminin Geliştirilmesi ve Validasyonu. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (17), 703-710.

## Öz

Penisilin grubu antibiyotikler, yan etkilerinin azlığı ve bakterisid olmaları nedeniyle günümüzde en sık kullanılan antibiyotik grubudur. Bu ilaçların olumlu etkilerine rağmen tüketiminden sonra yiyecek veya sulu ortamlarda bulunması ciddi sağlık sorunlarına yol açmaktadır. Ayrıca hayvan yemindeki penisilin kalıntılarının varlığı, insanların et ve süt ürünlerini tüketmesi ile ağır alerjik tepki gibi halk sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratabilmektedir. Bu nedenle bu bileşiklerin tayinleri için analitik metotlarda bir gelişme veya bu bileşiklerin özellikleri ile ilgili bir bilgi büyük katkı sağlayacaktır. İlaç formunda yer alan (tablet, kapsül vb.) etken maddenin tanımlanmasında, klinik çalışmalar sırasında plazma ve serum gibi fizyolojik sıvılardaki ilaç ve olası metabolitlerin tayini için HPLC yöntemi kullanılmaktadır. Bu çalışmada penisilin grubu 4 bileşiğin (metisilin, penisilin V, amoksasilin, ampisilin) ayrımı ve farmasötik ve idrar numunelerinden Penisilin V'nin kantitatif tayini için miseller sıvı kromatografi (MLC) metodu geliştirilmiş ve valide edilmiştir. Analizler X-Terra RP18 (250 mm x 4,6 mm I.D., 5 µm) kolunda gerçekleştirilmiştir. Hareketli faz olarak 1- bütanol-su (% 5 (h/h)) ortamında 0,05 M sodyum dodesil sülfat içeren 0,01 fosfat (pH 3,5) tamponu kullanılmıştır. Akış hızı 1,3 mL dk<sup>-1</sup>, enjeksiyon hacmi 20 µL, kolon sıcaklığı 30 °C, dedeksiyon dalga boyu 200 nm'dir. Geliştirilen metot için sistem uygunluk parametreleri çalışılmış ve kabul edilebilir sonuçlar elde edilmiştir. Doğrusallık, seçicilik, dedeksiyon limiti (LOD), kantitatif tayin limiti (LOQ), gün içi ve günler arası kesinlik parametreleri belirlenerek metot validasyonu gerçekleştirilmiştir. Penisilin V için kalibrasyon eğrisi 2-20 mg/L konsantrasyon aralığında doğrusaldır (R<sup>2</sup>=0,9998) ve LOD ve LOQ sırasıyla 0,203 mg/L ve 0,679 mg/L olarak bulunmuştur. Bu metot çeşitli farmasötik formülasyonlar ve insan idrar numunelerinde penisilin V tayinine uygulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Miseller sıvı kromatografi, Beta-laktam antibiyotikler, Penisilin V, Metot validasyonu

## Development and Validation of Micellar Liquid Chromatography Method for Separation of Penicillin Group Antibiotics and Analysis of Penicillin V in Pharmaceutical and Urine Samples

### Abstract

Penicillin group antibiotics are the most commonly used antibiotics group due to the have less side effects and bactericide. Despite the positive effects of these drugs, the presence of food or aqueous media after consumption leads to serious health problems. Furthermore, in the presence of penicillin residues in animal feed, due to the consumption of meat and dairy products may have a negative impact on public health such as severe allergic reaction. Therefore, an improvement in analytic methods for determination of such compounds or an information about the characteristics of these compounds, will make great contributions. HPLC methods is used for identification of the active substance in the form of pharmaceutical (tablets, capsules, etc.) and to determine the drug and possible metabolites in

\* Gizem Yıldırım Baştemur: İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4634-4525), [gyildirimbastemur@gmail.com](mailto:gyildirimbastemur@gmail.com)

plasma and serum physiological fluids during clinical trials. In this study, micellar liquid chromatography (MLC) method has been developed and validated for the separation of the penicillin group 4 compounds (methicillin, penicillin V, amoxicillin, ampicillin) and quantitative determination of penicillin V from pharmaceutical and urine samples. Analyzes were performed on the X-Terra RP18 (250 mm x 4,6 mm I.D., 5 µm) column. The mobile phase is 0.01 phosphate (pH 3.5) buffer containing 0.05 M sodium dodecylsulfate in 5 % (v/v) 1-butanol-water. Flow rate is 1.3 mL min<sup>-1</sup>, injection volume is 20 µL, column temperature is 30 °C, detection wavelength is 200 nm. For the developed method, system suitability parameters were studied and acceptable results were obtained. Method was validated by the determination of linearity, selectivity, limit of detection (LOD), limit of quantification (LOQ), intra-day and inter-day precision parameters. The calibration curve for penicillin V is linear in the concentration range of 2-20 mg/L. LOD and LOQ were found to be 0.203 mg/L and 0.679 mg/L, respectively. This method has been applied to the determination of penicillin V in various pharmaceutical formulations and human urine samples.

**Keywords:** Micellar liquid chromatography, Beta lactam antibiotics, Penicillin V, Method validation

## 1. Giriş

Antibiyotikler, mikroorganizmalar tarafından üretilen ya da yok edilen (bakterisid) veya diğer mikroorganizmaların (bakteriyostatik) büyümesini engelleyen kimyasal maddelerdir. Bütün bakterilerde yavaş gelişme, hızlı gelişme ve dinlenme dönemlerinden oluşan üç çoğalma evresi vardır ve antibiyotikler bakterilerin hızlı ve yavaş gelişme dönemlerinde etki göstermektedirler (Schugerl, 2001). Antibiyotikler ya çok çeşitli mikroorganizmalara karşı aktif olan geniş spektrumlu ya da belirli bir organizma grubuna karşı aktif olan dar spektrumlu olabilir. Genel olarak antibiyotikler i) bakteri hücre çeperi bileşenlerinin sentezinin önlenmesi; ii) bakteriyel sitoplazmik membrana zarar vermek; iii) protein veya nükleik asit sentezine müdahale ederek çalışmaktadır (Samanidou ve Evagelopoulou, 2007).

Penisilinler, antibiyotiklerin en önemli gruplarından birini oluştururlar. İlk penisilinin kullanıma girmesinden sonra başka antimikrobik ajan üretilmiş olmasına rağmen penisilinler hala çok geniş kullanıma sahiptir ve penisilinin yeni türevleri üretilmeye devam etmektedir. Penisilin ve türevlerinin temel yapısı 6-aminopenisilanik asit (6-APA) çekirdeğidir ve bu çekirdek, bir tiazolidin halkasıyla ona bir yan zincirle bağlanan beta laktam halkasından oluşur. Biyolojik aktivite için 6-APA çekirdeğinin bütünlüğünü koruması gereklidir. Beta laktam halkasına bağlı sekonder amin grubuna çeşitli radikaller bağlanarak amid bağını oluştururlar. Bu şekilde farmakokinetik ve farmakolojik farklılıklar gösteren penisilin türevleri elde edilir (Dural, 2008).

Penisilinler, bakteri ve mantar enfeksiyonlarını önlemek için veterinerlik ve tıbbi ilaç uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Riediker vd., 2004; Becker vd., 2004). Penisilinlerin olumlu etkilerine rağmen, tüketiminden sonra gıda veya sulu ortamlarda bulunması ciddi sağlık tehdidi oluşturmaktadır. Ayrıca hayvan yemindeki penisilin kalıntılarının varlığı, insanların et ve süt ürünlerini tüketmesi ile ağır alerjik tepki gibi halk sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratabilmektedir (Fagerquist ve Lightfield, 2003). Bunun yanında farmokinetik çalışmalarda ilacı ve herhangi bir bozunma ürününün ayırt edilmesi gerekliliği ve alerjik reaksiyonların sıklıkla penisilin grubu bileşiklerden kaynaklanması penisilinlerin analizini önemli bir hale getirmiştir (Joshi, 2002). Penisilinlerin tayini için kullanılan mikrobiyal inhibisyon ve immünolojik testler gibi biyoanalitik yöntemler bulunmaktadır (Babington vd., 2012; Song vd., 2015). Fakat yüksek performansı, karışımları ön işleme tabi tutmadan ayırma ve tayin edebilme gücü, hızı ve oldukça iyi duyarlılığa sahip olması gibi avantajları sebebiyle bu antibiyotiklerin tayininde yüksek performans sıvı kromatografisi (HPLC) yöntemi tercih edilmektedir (Camara vd., 2013).

Misellar sıvı kromatografisi (MSK), hareketli fazın kritik misel konsantrasyonunun üzerinde yüzey aktif madde içerdiği bir sıvı kromatografisi yöntemidir (El-Shaheny, vd., 2015). MSK'de hareketli faza bir yüzey aktif madde ekleyerek hareketli fazın ve kolonun polaritesini değiştirmek ve böylece organik bir çözücü kullanmadan kromatografik ayırımı gerçekleştirmek mümkündür. Kullanılan yüzey aktif maddenin konsantrasyonunun, kritik misel konsantrasyonu olarak adlandırılan ve her yüzey aktif madde için farklı olan belirli bir konsantrasyon değerinin üzerinde olması gerekmektedir (Berthod ve Garcia-Alvarez-Coque, 2000). Bir yüzey aktif maddenin sulu çözeltideki konsantrasyonu kritik misel konsantrasyonunun üzerine çıkarıldığında; bu madde sulu çözelti içinde miseller halinde toplanmaya başlamaktadır. Çözelti, su ve misel yapı olmak üzere iki kısımdan oluşmuş gibidir. Kolon sabit fazı bu sistemin üçüncü unsurunu oluşturmakta ve hareketli fazda bulunan analitler, su - miseller yapı - kolon sabit fazı olmak üzere üçlü bir sistem içinde dağılım göstermektedir. Böylece polar ve apolar karakterli pek çok bileşenin kromatografik ayırımının sağlanabileceği belirtilmektedir (Ruiz-Angel vd., 2002). Yüzey aktif maddeler kolon polaritesini değiştirerek iyonik ve iyonik olmayan analitlerin eşzamanlı analizini de mümkün kılmaktadır. HPLC çalışmalarında en yaygın olarak kullanılan yüzey aktif madde sodyum dodesil sülfattır (SDS). Uygun maliyetli olması, düşük basınçlı bileşiklere uygulanabilirliği, mobil fazda yüzey aktif madde kullanımı nedeniyle biyolojik olarak parçalanabilir (yani çevre dostu) özelliği, biyolojik numunelerin doğrudan enjeksiyon kabiliyetine sahip olması gibi çok sayıda avantajlarının olması MSK'nin kullanımını artırmaktadır (Ramezani vd., 2018).

Bu çalışmada, metisilin, penisilin V, amoksasilin ve ampicilinin ayırımı ve Penisilin V'nin kantitatif analizi için hızlı, yüksek seçicilik ve duyarlılıkta MSK yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemin geçerliliğinin kanıtlanması amacıyla doğrusalılık, duyarlılık, seçicilik, kesinlik, geri kazanım, tespit ve tayin sınırları gibi validasyon parametreleri incelenmiş ve istatistiksel değerlendirmeler yapılmıştır. Geliştirilen ve valide edilen MSK yöntemi penisilin V'nin ilaç ve biyolojik sıvı numunelerindeki kantitatif analizine uygulanmıştır.



## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Kullanılan Kimyasal Maddeler

Deneysel çalışmalarda kullanılan tüm kimyasallar analitik saflıktadır. 1-bütanol (%99,9), o-fosforik asit (%85), sodyum dodesil sülfat (%85), urasil ( $\geq 99$ ) Merck (Darmstadt, Germany) firmasından; metisilin, penisilin V, amokksasilin, ampisilin Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA) firmasından temin edilmiştir. Pen-Os 1000 film (Sandoz İlaç Sanayi ve Ticaret A.Ş.) ve Cliacil 1.2. Mega film tabletleri (Bilim İlaç Sanayi ve Ticaret A.Ş.) yerel bir eczaneden satın alınmıştır.

### 2.2. Kullanılan Cihazlar

Penisilin grubu antibiyotiklerin sıvı kromatografik davranışlarının incelenmesinde Shimadzu (Shimadzu Technologies, Kyoto, Japan) marka yüksek performans sıvı kromatografi cihazı (HPLC) kullanılmıştır. HPLC sisteminde, pompa (LC-10AD VP), autosampler (SIL-20A), kolon fırını (CTO-10AS), gaz giderme ünitesi (DGU-20A) ve diode array dedektör (SPD-M20A) bulunmaktadır. Mobil fazın pH ölçümleri pH/iyon metre (Mettler Toledo S220, Schwerzenbach, Switzerland) ve Mettler Toledo InLab 416 Ag/AgCl kombine elektrot ile gerçekleştirilmiştir. Çözeltilerin hazırlanmasında ultrasonik banyo (Elmasonic S15) kullanılmıştır.

### 2.3. Kromatografik Koşullar

Seçilen bileşiklerin kromatografik davranışlarının incelenmesinde mobil faz olarak % 5(v/v) 1-bütanol-su ortamında 0,05 M sodyum dodesil sülfat içeren 0,01 M fosfat (pH 3,5) tamponu kullanılmıştır. İzokratik elüsyon X-Terra RP18 (250 mm x 4,6 mm I.D., 5  $\mu$ m) kolonunda gerçekleştirilmiştir. Çalışma 1,3 mL/dk akış hızı, 20  $\mu$ L enjeksiyon hacmi, 30 °C kolon sıcaklığı ve 200 nm dalga boyunda yürütülmüştür.

### 2.4. Çözeltilerin Hazırlanması

Standartların (metisilin, penisilin V, amokksasilin, ampisilin) stok çözeltileri 100 mg/L derişimde hazırlanmıştır. Bu amaçla her bir standart 0,5 mg tartılıp üzerine 5 mL 0,05 M SDS içeren 0,01 M fosfat (pH 3,5) çözeltisi ilave edilmiş, 5 dk ultrasonik banyoda bekletilmiş ve 0,45  $\mu$ m'lik filtreden süzölmüştür. Enjeksiyon yapılacak derişimlerde mobil faz ile seyreltmeler yapılmıştır. Çalışan bileşiklerin kimyasal yapıları Şekil 1'de verilmiştir.

Çalışılan koşullarda kapasite faktörlerinin belirlenmesi için kullanılan urasil çözeltisi, derişimi 10 mg/L olacak şekilde 0,05 M SDS içeren 0,01 M fosfat (pH 3,5) çözeltisinde hazırlanmıştır. Urasilin hazırlanan bu çözeltisinden 20  $\mu$ L enjekte edilerek kolonda tutunmayan türe özgü  $t_0$  alıkonma zamanı belirlenmiştir.

### 2.4. Numunelerin Hazırlanması

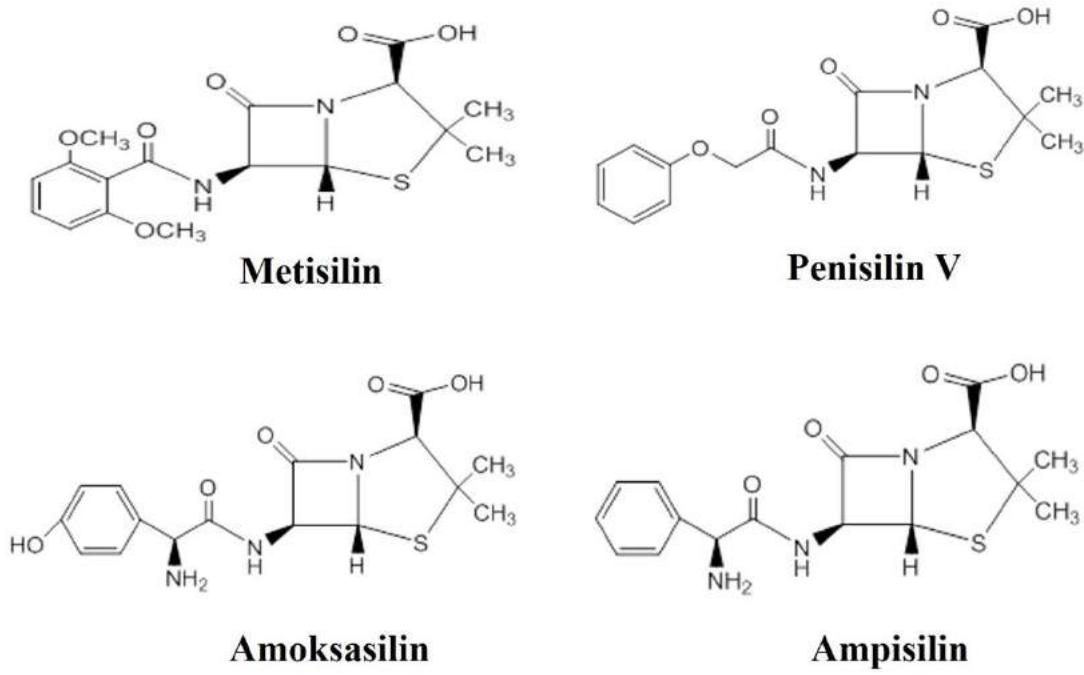
Farmasötik numunelerde miktar tayini yapabilmek amacıyla 10 tablet ezilmiş ve 1 tablete eşdeğer miktardaki tablet tozu, 25 mL'lik balon jofeye alınmıştır. Üzerine ultra saf su eklenerek ultrasonik banyoda 15 dakika çözünmesi için bekletilmiştir ve hazırlanan çözelti 0,45  $\mu$ m'lik filtreden süzölmüştür. Penisilin V'nin kalibrasyon aralığındaki derişimde olacak şekilde bu süzöntüden mobil faz ile seyreltme yapılmıştır. Her iki tablet numunesine (Pen-Os 1000 film tablet ve Cliacil tablet) aynı işlem uygulanmıştır.

İdrar numunesi Penisilin V içeren ilacı kullanmayan sağlıklı bireylerden alınmıştır. Belirli miktar idrar 2000 devir/dakika hızla 15 dakika santrifüjlenerek proteinlerin çökmesi sağlanmış ve süpernatant kısım alınarak 0,45  $\mu$ m'lik filtreden geçirilmiştir. Analizlerde 1:50 oranında idrar içeren çözeltiler hazırlanmıştır. Penisilin V standart çözeltisinden 7,5 mg/L olacak şekilde idrar numunesine katkı yapılmıştır.

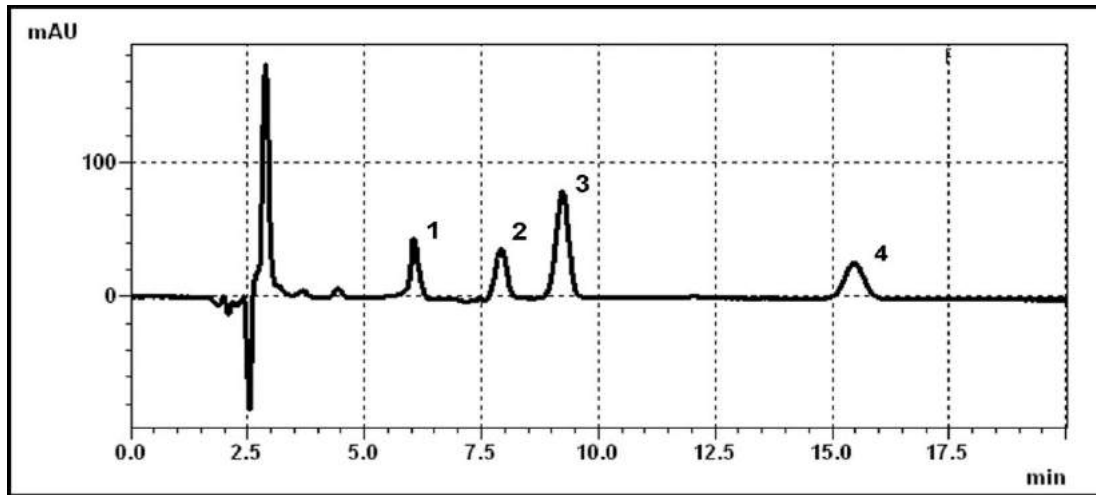
## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Penisilin grubu antibiyotiklerden olan; metisilin, penisilin V, amokksasilin ve ampisilinin ayırımı ve farmasötik ve insan idrar numunelerinde Penisilin V'nin kantitatif analizi X-Terra RP18 (250 mm x 4,6 mm I.D., 5  $\mu$ m) kolunu ve % 5(v/v) 1-bütanol-su ortamında 0,05 M SDS içeren 0,01 M fosfat (pH 3,5) tamponu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Belirlenen koşullar için veriler, sistem uygunluk testleri bakımından değerlendirilmiştir. Sistem Uygunluk Testleri (SUT), Food Drug Administration (FDA) ve United States Pharmacopeia (USP) tarafından önerilen sıvı kromatografisi ve diğer ayırma tekniklerinde yöntem geliştirmenin bir parçasını oluşturan testlerdir. Belirli derişimlerde hazırlanan çözeltilerin sisteme enjeksiyonundan sonra cihazdan alınan verilerin kromatografik parametreleri hesaplanmıştır (Tablo 1). Her bir kapasite faktörünün hesaplanmasında kolonda tutunmayan türe özgü  $t_0$  alıkonma zamanının belirlenmesi için urasil kullanılmıştır ve  $t_0$  değeri 2,714 dakikadır. Sistem uygunluk testlerinin gerçekleştirildiği koşula ait kromatogram Şekil 2' de verilmiştir.

Tablo 1'de görüldüğü gibi kapasite faktörünün (k) 1-10 arasında, seçicilik katsayısı ( $\alpha$ ) değerinin 1,15'in üzerinde ve ayırma gücü ( $R_s$ ) değerinin 1,5'in üzerinde olması yöntemin sistem uygunluk parametreleri açısından uygunluğunu göstermektedir.



Şekil 1. Çalışılan bileşiklerin kimyasal yapıları

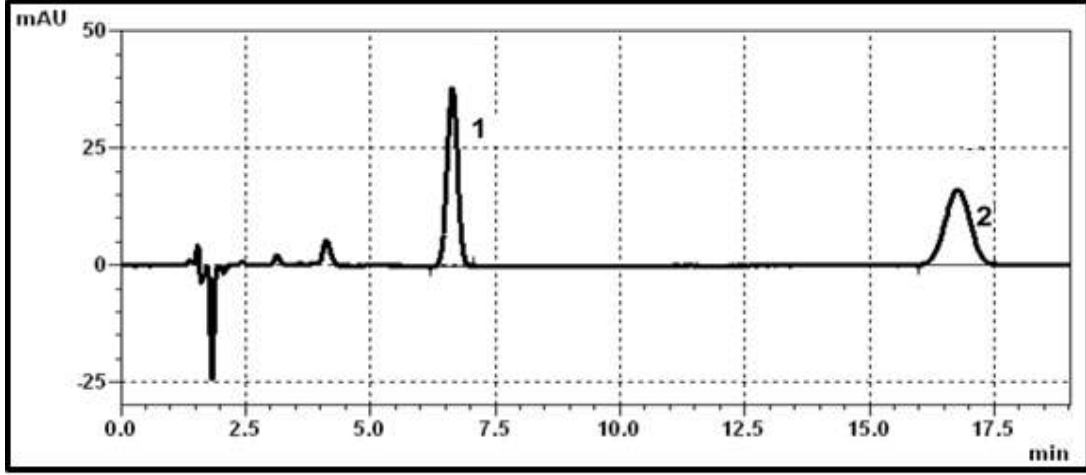


Şekil 2. Standart karışım (her biri 15 mg/L) kromatogramı: 1) metisilin, 2) penisilin V, 3) amoksasilin 4) ampisilin (%5(v/v) 1-bütanol-su ortamında 0,05 M SDS içeren 0,01 M fosfat (pH 3,5) tamponu, akış hızı 1,3 mL/dk, 30°C)

Tablo 1. Sistem uygunluk parametreleri

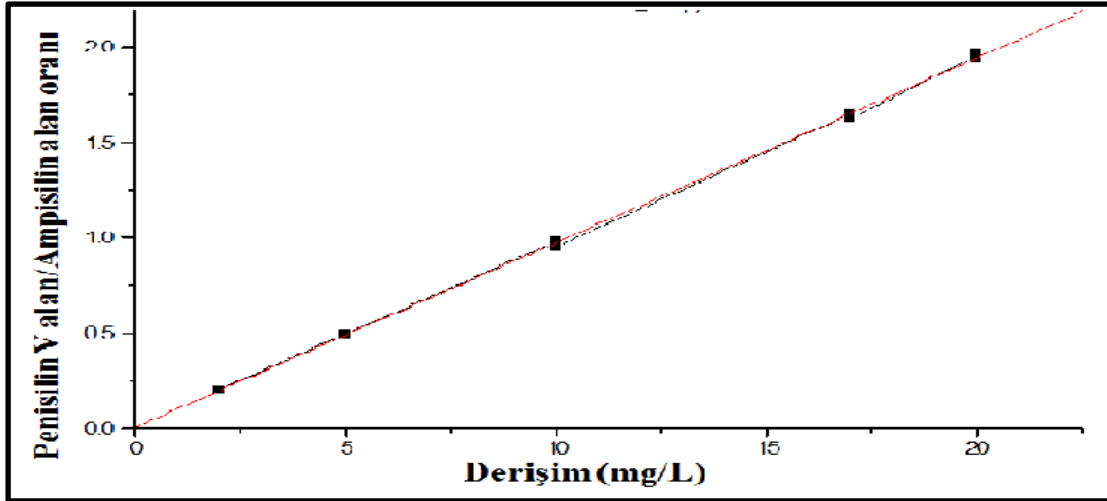
Parametreler	Önerilen Değer	Metisilin	Penisilin V	Amoksasilin	Ampisilin
Alıkonma zamanı (dk)		6,040	7,908	9,215	15,471
Kapasite faktörü (k)	1-10	1,225	1,913	2,395	4,700
Seçicilik ( $\alpha$ )	$\geq 1,15$	-	1,561	1,251	2,305
Kuyruklanma faktörü (TF)	$\leq 2$	1,025	1,057	0,974	1,029
Tabaka sayısı (N)	$> 2000$	5680	4870	5166	6119
Ayrırma gücü ( $R_s$ )	$\geq 1,5$	-	6,919	2,533	9,121
% RSD (Alıkonma zamanı)	$\leq 1$	0,066	0,184	0,186	0,141

iç standardın alanına oranı; x ekseninde analitin derişimi ile oluşturulur. Penisilin V'nin kantitatif tayini için seçicilik ve ayırma gücü göz önüne alınarak iç standart (I.S) olarak penisilin grubundan ampisilin seçilmiştir. Şekil 3'de Penisilin V ve ampisilin (I.S) standart karışım kromatogramı verilmiştir.



Şekil 3. Standart karışım kromatogramı; 1) penisilin V (17 mg/L) 2) ampisilin (I.S) (10 mg/L) (%5(v/v) 1-bütanol-su ortamında 0,05 M SDS içeren 0,01 M fosfat (pH 3,5) tamponu, akış hızı 1,3 mL/dk, 30°C)

Penisilin V'nin MSK yöntemiyle kalibrasyon fonksiyonunun doğrusal aralığının belirlenmesinde 2 mg/L ile 20 mg/L arasında farklı derişimlerde çözeltiler hazırlanmıştır. Ampisilin (I.S) 10 mg/mL sabit derişimde enjekte edilmiştir. Kalibrasyon fonksiyonu, her bir derişim değeri için penisilin V pik alanının ampisilin pik alanına oranının, penisilin V derişimine karşı işaretlenmesiyle elde edilmiştir (Şekil 4). Penisilin V için 2 mg/L ile 20 mg/L konsantrasyon aralığında beş noktalı kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur. Penisilin V analizi için doğrusal kalibrasyon fonksiyonu, teşhis sınırı (LOD) ve tayin alt sınırı (LOQ) değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Elde edilen doğrusal kalibrasyon fonksiyonun korelasyon katsayısının 1'e çok yakın olduğu gözlenmiştir. Bu kalibrasyon eğrisinden 2 farklı konsantrasyon seçilip (5 mg/L ve 10 mg/L) gün içi ve günler arası üçer enjeksiyon yapılmış ve yöntemin kesinliği belirlenmiştir (Tablo 3).



Şekil 4. Penisilin V'nin analizine ait doğrusal grafik

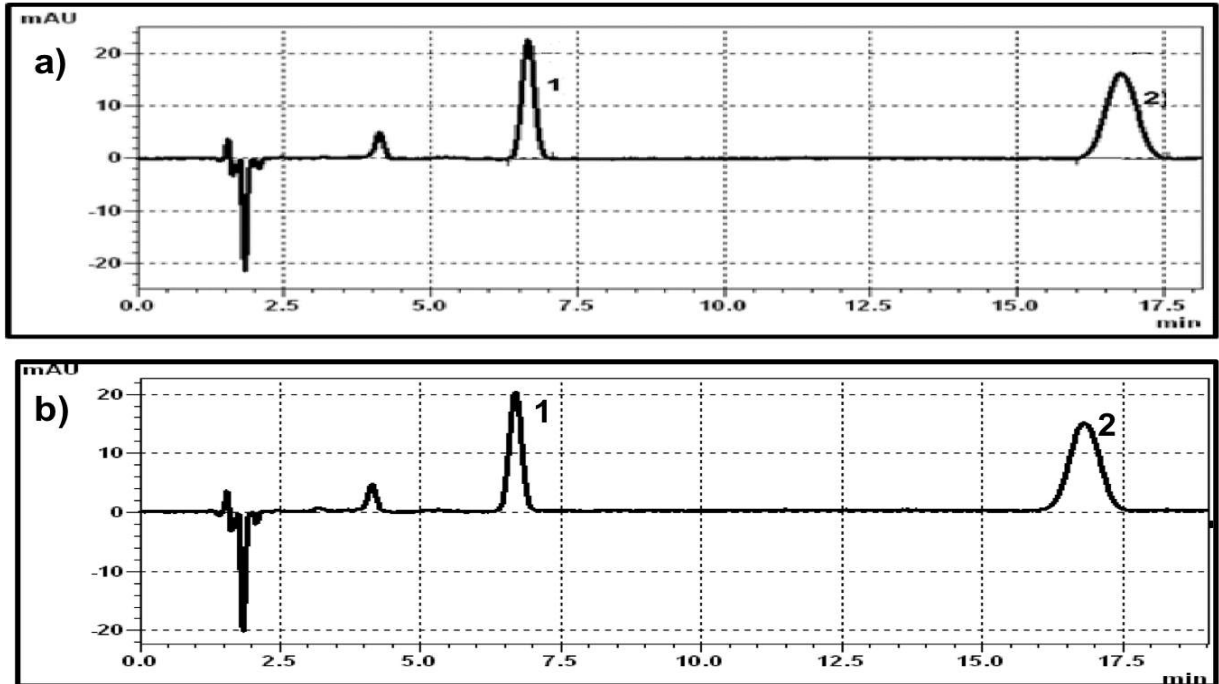
Tablo 2. Penisilin V'nin analizine ait doğrusal kalibrasyon fonksiyon verileri (n=5)

Penisilin V	
Kalibrasyon aralığı (mg/L)	2-20
Regresyon denklemi	$y=0,09683x+0,00583$
Eğimin standart hatası	0,00053
Kesimin standart hatası	0,00658
Korelasyon katsayısı (r)	0,9998
LOD (mg/L)	0,203
LOQ (mg/L)	0,679

Tablo 3. Penisilin V'nin analiz yöntemine ait gün içi ve günler arası kesinlik analiz bulguları

Bileşik	Teorik derişim (mg/L)	Gün içi		Günler arası	
		Ortalama derişim (mg/L) ± SD	RSD %	Ortalama derişim (mg/L) ± SD	RSD %
Penisilin V	5	5,03±0,02	0,48	4,75±0,06	1,38
	10	10,05±0,04	0,37	10,12±0,08	0,82

Penisilin V tayini için geliştirilen yöntem piyasa ilaç preparatlarına (Pen-Os ve Cliacil) uygulanmıştır. Hazırlanan tablet çözeltilerinden penisilin V derişim kalibrasyonuna uygun şekilde seyreltme yapılmıştır ve 10 mg/L derişimde iç standart ile katkılandırılmıştır. Yapılan analiz sonuçlarında okunan pik alan değerleri, ilgili kalibrasyon denkleminde değerlendirilerek tabletlerin içerdiği penisilin V miktarları hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda tabletlerde bulunan penisilin V miktarı Tablo 4'de verilmiştir. Pen-Os ve Cliacil tabletlerde analit miktarının belirlendiği koşula ait kromatogramlar Şekil 5'de verilmiştir.

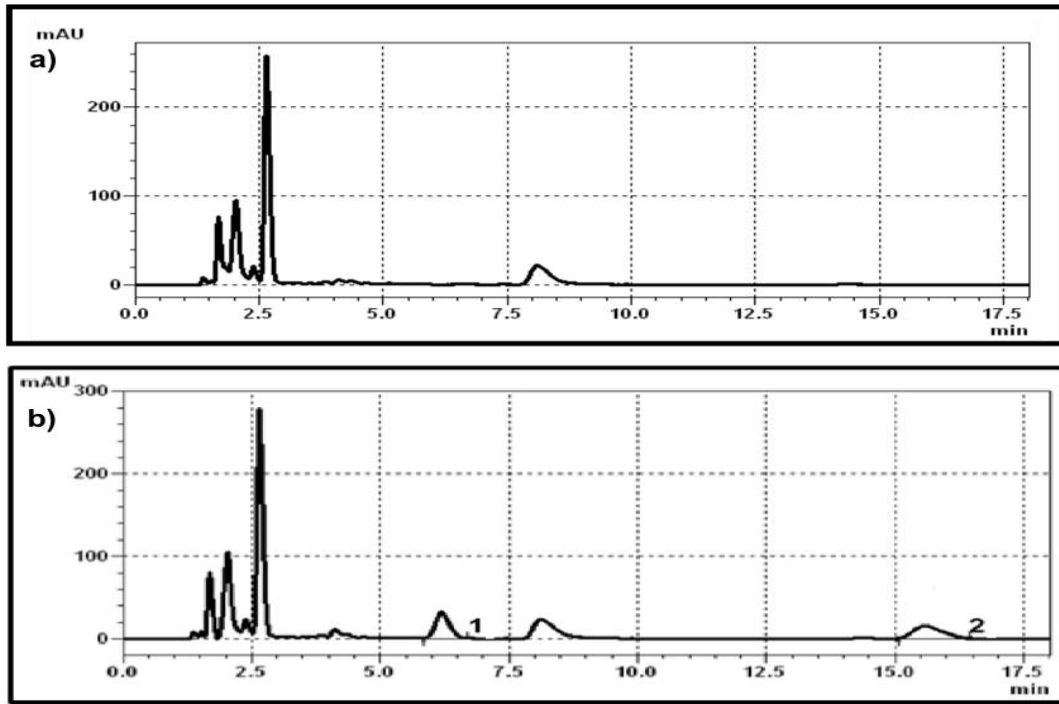


Şekil 5. Pen-Os ve Cliacil tabletlerin analiz yöntemine ait 200 nm'de alınan kromatogramları; 1) penisilin V (7,5 mg/L) 2) ampisilin (I.S.) (10 mg/L) (%5(v/v) 1-bütanol-su ortamında 0,05 M SDS içeren 0,01 M fosfat (pH 3,5) tamponu, akış hızı 1,3 mL/dk, 30°C)

Tablo 4. Penisilin V içeren Pen-Os ve Cliacil tabletlerinin analizine ait bulgular

Numune	Teorik derişim	Ortalama derişim	RSD
	(mg/L)	(mg/L) ± SD	%
Pen-Os 1000 tablet (mg/L)	7,50	6,04±0,06	1,01
Cliacil tablet (mg/L)	7,50	5,94±0,14	2,49

Geliştirilen yöntem idrar numunesine de uygulanmıştır. Sağlıklı bir insanda dışarıdan vücuda alınmadıkça Penisilin V bulunmamaktadır. Kromatogramın başındaki proteinlerden kaynaklanan piklerin ve endojen bileşiklerin çeşitli alıkonma zamanlarında gözlenen piklerin şiddetinin azaltılması amacıyla idrar numunesi enjeksiyondan önce mobil faz ile 1:50 oranında seyreltilmiştir. Penisilin V katkılandırılmış idrar numunesinde kalibrasyon grafiği oluşturulmuş ve lineer aralık 2-20 mg/L olarak belirlenmiştir. Doğru denklemi  $y=0,12505x-0,02176$  ve korelasyon katsayısı 0,9990 olarak elde edilmiştir. Penisilin V standart çözeltisinden idrar numunesine 7,5 mg/L olacak şekilde katkı yapılmıştır. İdrar ve katkılandırılmış idrar numunesinin analizi sonucu elde edilmiş kromatogramlar Şekil 6'da verilmiştir. Analiz sonucunda okunan pik alan değerlerinin oranı ilgili kalibrasyon denkleminde yerine konularak idrar numunesinin içerdiği penisilin V miktarı hesaplanmıştır. Geliştirilen yöntemle yapılan analiz sonucu Tablo 5'de verilmiştir. Penisilin V katkılanmış idrar numunesinde geri kazanım değeri %100'e yakın bulunmuştur.



Şekil 6. a) İdrar numunesi b) Penisilin V (7,5 mg/L) katkılanmış idrar numunesi kromatogramları; 1) penisilin V 2) ampisilin (I.S) (%5(v/v) 1-bütanol-su ortamında 0,05 M SDS içeren 0,01 M fosfat (pH 3,5) tamponu, akış hızı 1,3 mL/dk, 30°C)

Tablo 5. Penisilin V katkısı yapılan idrar numunesi analizine ait bulgular

Numune	Teorik derişim	Ortalama derişim	RSD	Geri Kazanım
	(mg/L)	(mg/L) ± SD	%	%
İdrar	7,50	7,51±0,05	0,65	100,13



## 4. Sonuç

Bu çalışmada penisilin grubundan 4 bileşiğin (metisilin, penisilin V, amoksisilin ve ampisilin) ayrımı ve Penisilin V'nin kantitatif tayini için basit, kesin, doğru ve tekrarlanabilir MSK yöntemi geliştirilmiştir. Belirlenen koşul için veriler, sistem uygunluk testleri bakımından değerlendirilmiştir. Kantitatif tayin için gerekli olan; seçicilik katsayı değerinin 1,15'den ve ayırma gücü değerinin 1,5'den büyük olduğu belirlenmiştir. Geliştirilen yöntemin elde edilen parametreler ışığında uygulanabilir olduğu bulunmuştur. Yöntemin geçerliliğinin kanıtlanması amacıyla lineer aralık, duyarlık, kesinlik, geri kazanım parametreleri incelenmiş ve istatistiksel değerlendirmeler yapılmıştır. Penisilin V için kalibrasyon grafiği 2 mg/L ile 20 mg/L arasında doğrusaldır ve korelasyon katsayısı (r) ise 0,9998 olarak belirlenmiştir. LOD 0,203 mg/L; LOQ ise 0,679 mg/L olarak hesaplanmıştır. Bileşiklerin tayini için kesinlik çalışmaları 5 mg/L ve 10 mg/L derişimlerinde gerçekleştirilmiştir. Gün-içi ve günler-arası kesinlik değerlerinin % RSD'si 5 mg/L için sırasıyla 0,48 ve 1,38'dir. 10 mg/L için günler içi ve günler arası % RSD değerleri ise sırasıyla 0,37 ve 0,82 olarak hesaplanmıştır. Bu veriler ışığında penisilin V'nin farmasötik ve insan idrar numunelerindeki kantitatif tayini, iç standart yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen yöntemde numuneler herhangi bir ön-işlem adımı olmaksızın doğrudan enjekte edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, bu yöntemin ilaç ve biyolojik uygulamalarda penisilin V'nin rutin analizi için kullanılabileceğini göstermektedir.

## Kaynakça

- Babington, R., Matas, S., Marco, M.P., Galve, R. (2012), Current bioanalytical methods for detection of penicillins, *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 403, 1549–1566.
- Becker, M., Zittlau, E., Petz, M. (2004), Esidue analysis of 15 penicillins and cephalosporins in bovine muscle, kidney and milk by liquid chromatography-tandem mass spectrometry, *Analytical Chemistry Acta*, 520, 19–32.
- Berthod, A., Garcia-Alvarez-Coque, M.C. (2000), *Micellar Liquid Chromatography*, 622 p. Marcel Dekker Inc. Newyork.
- Cámara, M., Gallego-Picó, A., Garcimuño, R.M., Fernández-Hernando, P., Durand-Alegria, J.S., Sánchez, P.J. (2013), An HPLC-DAD method for the simultaneous determination of nine  $\beta$ -lactam antibiotics in ewe milk, *Food Chemistry*, 141, 829–834.
- Dural, E.A.Ö., (2012), *Farmakoloji*, İstanbul: Nobel Tıp Kitapevleri.
- El-Shaheny, R.N., El-Maghrabey, M.H., Belal, F.F. (2015), Micellar liquid chromatography from green analysis perspective, *Open Chemistry*, 13, 877–892.
- Evangelopoulou, E. N., Samanidou, V. F., (2013), Development and validation of an HPLC method for the determination of six penicillin and three amphenicol antibiotics in gilthead seabream (*Sparus Aurata*) tissue according to the European Union Decision 2002/657/EC, *Food Chemistry*, 136, 1322-1329.
- Fagerquist, C.K., Lightfield, A.R. (2003), Confirmatory analysis of  $\beta$ -lactam antibiotics in kidney tissue by liquid chromatography/electrospray ionization selective reaction monitoring ion trap tandem mass spectrometry, *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 17, 660–671.
- Joshi, S., (2002), HPLC separation of antibiotics present in formulated and unformulated samples, *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 28, 795–809
- Pryde, A., Gilbert, M.T. (1999), *Applications of High Performance Liquid Chromatography*, Mishawaka: Better Word Books.
- Ramezani, A.M., Absalan, G., Ahmadi, R. (2018), Green-modified micellar liquid chromatography for isocratic isolation of some cardiovascular drugs with different polarities through experimental design approach, *Analytical Chemistry Acta*, 1010, 76–85.
- Riediker, S., Rytz, A., Stadler, S.H. (2004), Cold-temperature stability of five  $\beta$ -lactam antibiotics in bovine milk and milk extracts prepared for liquid chromatography-electrospray ion- ization tandem mass spectrometry analysis, *Journal of Chromatography A*, 1054, 359–363.
- Ruiz-Angel, M.J., Caballero, R.D., Simo-Alfonso, E.F., Garcia-Alvarez-Coque, M.C. (2002), Micellar liquid chromatography: suitable technique for screening analysis, *Journal of Chromatography A* 947(1): 31-45.
- Samanidou, V. F., Evangelopoulou, E. N. (2007), Analytical strategies to determine antibiotic residues in fish, *Journal of Separation Science*, 30, 2549–2569.
- Samanidou, V. F., Evangelopoulou, E. N., Papadoyannis, I. N. (2006), Chromatographic analysis of penicillins in pharmaceutical formulations and biological fluids, *Journal of Separation Science*, 29, 1879–1908.
- Schugerl, K. (2001), Progress in Monitoring, Modeling and Control of Bioprocesses During the Last 20 Years, *Journal of Biotechnology*, 85, 149-173.
- Song, E., Yu, M., Wang, Y., Hu, W., Cheng, D., Swihart, M.T., Song, Y. (2015), Multi-color quantum dot-based fluorescence immunoassay array for simultaneous visual detection of multiple antibiotic residues in milk, *Biosensors and Bioelectronics*, 72, 320–325.
- Tong, L., Wang, Y.X., Hermo, M.P., Barrón, D., Barbosa, J. (2014), Simultaneous determination and toxicological assessment of penicillins in different water matrices, *Ecotoxicology* 23, 2005–20.



# The Effect of Fabric Structural Geometry on Thermal Transfer Performance in Sportswear

Sertaç Güney<sup>1\*</sup>, Hilal Balcı<sup>2</sup>, İbrahim Üçgül<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Selçuk University, Faculty of Architecture and Design, Textile Design and Production Department, Konya, Turkey (ORCID: 0000-0002-9301-0026)

<sup>2</sup> Istanbul Arel University Vocational School, Department of Fashion Design, İstanbul, Turkey (ORCID: 0000-0001-5442-8860)

<sup>3</sup> Süleyman Demirel University, Engineering Faculty, Textile Engineering Department, Isparta, Turkey (ORCID: 0000-0001-9794-0653)

(İlk Geliş Tarihi 4 Ekim 2019 ve Kabul Tarihi 8 Kasım 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.629477)

**ATIF/REFERENCE:** Güney, S., Balcı, H. & Üçgül, İ. (2019). The Effect of Fabric Structural Geometry on Thermal Transfer Performance in Sportswear. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 711-717.

## Abstract

Especially for textiles, which contain open structure pores, airflow carrying heat energy transfers from one side to another side by conduction and convection. Convective heat transfer plays a very important role in thermal transfer performance of textiles due to its porous structure. Compression sportswear are generally produced from knitted porous stretch fabrics, which get extended on wearing and remain in the extended state. Since they are worn next to skin and are direct contact with the body surface, their thermal comfort properties are effective on overall clothing comfort. Perhaps the greater contact of the garment to the skin together with the constant airflow can transfer the heat better from the body to the environment. Most of the well-known auxetic materials possess porous microstructures and the sizes of the pores of auxetic materials can vary during the compressive and tensile deformation. In this study, an investigation has been made to evaluate the auxetic effect on the thermal transfer performance of clothing. Two type fabrics having the very similar fabric properties but different knitting structures were provided from the market and producer. While one has an auxetic structure, the other has a standard warp knitting structure commonly used in market. As permeability and porosity are strongly related to each other, we compared air permeability of fabrics in extended state considering the fabric extension results taken from virtual avatar having the same body measurements as subjects in 3D simulation. Fabric surface temperature changes on different clothed body parts investigated by an infrared thermal camera and analysed in thermal camera software (Flir Tools) for thermal transfer performance according to the wearing protocol.

**Keywords:** Fabric structural geometry, auxetic structure, thermal comfort, porous structure

\* Sorumlu Yazar: Selçuk University, Faculty of Architecture and Design, Textile Design and Production Department, Konya, Turkey, ORCID: 0000-0002-9301-0026, [sertac.guney@selcuk.edu.tr](mailto:sertac.guney@selcuk.edu.tr)

# 1. Introduction

Compression sportswear has grown immensely and become attractive in personel or team sports in recent years. A pleasing contact perception, reasonable pressure profile and optimum thermal-moisture properties are fundamental to promote comfort and physical performance and health to the athletes since these garments are typically designed to directly maintain contact with athlete's body [1]. Compression garments elongates up to 10% in lenght and 60% in width when worn, depending on the variations in body circumference. This stretch also changes the loop shape, density, thickness of fabric and also porosity. All these changes are expected to affect significantly the comfort behaviour of fabrics [2]. Heat and mass transfer through the garment is mostly dependent on the change in the contact area and porosity. Sport garments are at the interface between the human body and the environment and therefore modify the heat and mass transfers occurring at the skin surface. Clothing interacts with physiological and physical processes impacting skin temperature that can be assessed by infrared thermography. The assessment of sport garments, specifically their impact on the skin using thermography, enables great advances in the field of garment design and its consequence on sport performance and thermal comfort [3]. Conventional materials generally have positive poisson's ratio, contracting laterally when stretched and expanding laterally when compressed. Auxetic materials are quite the opposite, they exhibit a negative poisson's ratio and expand laterally when stretched and contract laterally when compressed. Most of the well-known auxetic materials possess porous microstructures and the sizes of the pores of auxetic materials can vary during the compressive and tensile deformation [4]. In the scope of textiles, auxetic fabrics have been widely researched and obtained with different structural units, such as fabric with negative poisson's ratio [5-9]. Re-entrant structure is the most commonly used auxetic structure in designing, manufacturing and researching fields. Basically the auxetic property is achieved by unfolding the re-entrant units as shown in Figure 1-a [10].

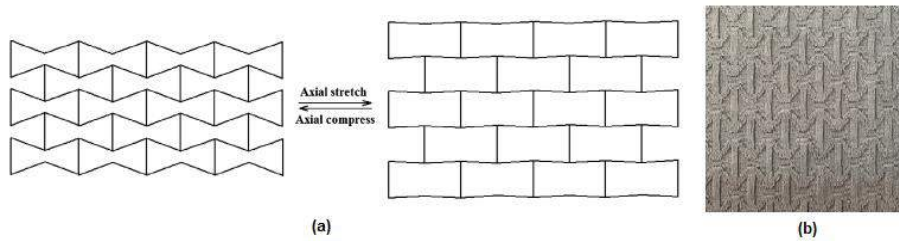


Figure 1. Re-entrant hexagonal structure (a) and auxetic fabric structure (b) [5].

As seen in Figure 1-a, under axial stretch the pore size changes in structure. Utilizing this behavior, these structures may have a significant potential for sportswear. With the development of auxetic materials, many results have been achieved among which knitted fabrics with negative poisson's ratio and their mechanical behaviours have been investigated [5-9,11-12]. However, there is no study about the influence of auxetic effect on thermal transfer performance of fabrics. In this study, the performances of auxetic warp knitted t-shirt and standard warp knitted t-shirt commonly used in sports market were compared.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Materials

Two type fabrics having the very similar fabric properties but different knitting structures were provided from the market (Underarmour Inc.) and producer. While one has an auxetic structure, the other has a standard warp knitting structure mostly used in market. The fabric properties were given in Table 1.

Table 1. Fabric properties

Fabric Code	A	B
Fibre Composition	80% PA 20% Elastane	80% PA 20% Elastane
Yarn Counts	55D PA / 70D Spandex	40D PA / 70D Spandex
Fabric Structure	Auxetic warp knitted	Warp knitted
Fabric Mass (g/m <sup>2</sup> )	240	240
Fabric Thickness (mm)	0.78	0.65
Air Permeability (l/ m <sup>2</sup> /s)	942.1	372.8
Thermal Resistance (m <sup>2</sup> K/W)	13.02	8.54

Microscopic views of fabric structures were shown in Figure 2.

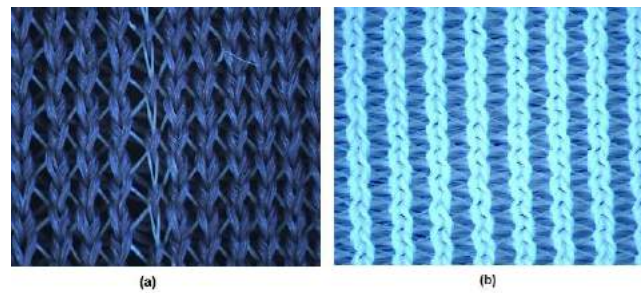


Figure 2. Microscopic views of fabric A (a) and B structures (b)

The loop density of fabric B is higher than the one of fabric A so that Fabric B is more compact and has less air permeability. In fabric A, to give a re-entrant relief shape in knitting, different loop movements had been used so that the fabric thickness is higher than fabric B. For thermal transfer performance test, T-shirts with sleeve in the same style as the t-shirt provided from market (Underamour Inc.) were produced for wear trials.

## 2.2. Methods

In order to determine the fabric extensions on different garment sections, KES-F (Kawabata evaluation system for fabrics) measurements were input into the simulation and the fabric extension maps were obtained (Figure 3).



Figure 3. The fabric extension maps

In second part, The temperature distributions of clothing outer surface was investigated by an infrared thermal camera (Flir E40 with  $0.07^{\circ}\text{C}$  thermal sensitivity). The tests were conducted in a performance room at a temperature of  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , relative humidity of  $50 \pm 5\%$ . Subjects were asked to wear the t-shirts and stand on footprints keeping the arm straight. The locations of infrared thermal camera and body posture were kept constant during the measurements. The infrared thermal measurements included two steps, first subjects were asked to wear t-shirts and body postures were photographed then subjects rested for ten min wearing t-shirts and body postures were photographed again. The clothing surface temperatures were then analyzed by thermal imaging software (Flir Tools) to get the average temperatures of sections on bust, waist and hip lines. To measure the surface temperatures of clothing, eight measuring areas were drawn on the frontal (E1-E2-E3-E4) and rear (E1-E2-E3-E4) infrared photos of upper body. The assumed extension values according to the extension maps in measuring areas were shown in Table 2.

Table 2. The extension values in extension maps

		Results in extension maps	
Frontal	E1	20%	
	E2	30%	
	E3	40%	
	E4	10%	
Rear	E1	30%	
	E2	20%	
	E3	40%	
	E4	10%	

As a compression garment extends in width as well as length when worn, the constructional and air permeability properties were measured at relaxed condition and also in different extended conditions. For measuring the extended fabric samples, a 16x16 cm<sup>2</sup> frame was prepared. 10cm x 10cm square was marked on the relaxed fabric mounted on the frame at a given extension (10-20-30-40%). In fabric extension maps, the max extension is determined as 35%. For this reason, it was determined that the measurements made under the maximum extension of 40% would be sufficient. Negative poisson's ration and air permeability were measured by extending the fabric on the frame. Fabric motions were recorded using a 13MP camera during the whole tension process until 40% extension and image process software DIGIMIZER was utilized to calculate negative poisson's ratio of the structure.

Air permeability of relaxed and extended fabric samples was tested according to EN ISO 9237 standard using FX 3300. Average of at least 10 readings was taken.

### 3. Results and Discussion

The Poisson's ratio was calculated from Equation (1) below by using data obtained from image software (Figure 4). The lowest value -0.703 of negative poisson's ratio was achieved when exposed to the strain of 8% then the values increased and it turned to positive poisson's ratios.

$$\nu = - \epsilon_x / \epsilon_y \tag{1}$$

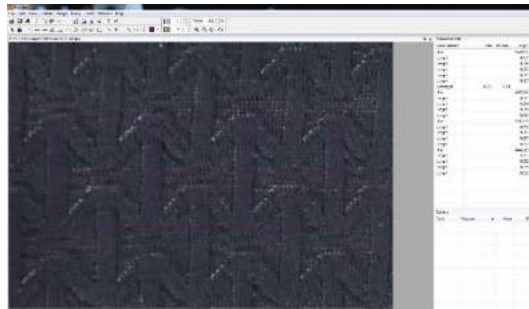


Figure 4. Measuring the poisson's ratio of fabric from image software



Air permeability values of the fabrics at various extension levels in bias direction were shown in Figure 5. Both of fabrics reached to the similar air permeability value at 40% extension level. Fabric A showed a stable increasing in air permeability values. Fabric B showed a little bit quick increase in air permeability values.

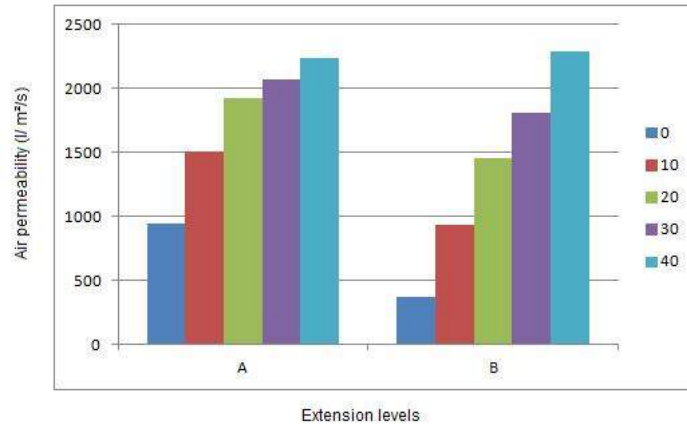


Figure 5. Air permeability values at various extension levels in bias direction (10-20-30-40%)

Air permeability values of the fabrics at various extension levels in wale direction were shown in Figure 6. Auxetic effect can be seen in this direction. It proved the stability in air permeability in more visible. In fabric B, the value variations at various extensions are higher and it could cause a disadvantage in thermal transfer performance. Because an optimum air permeability levels should be defined for better body thermal balance.

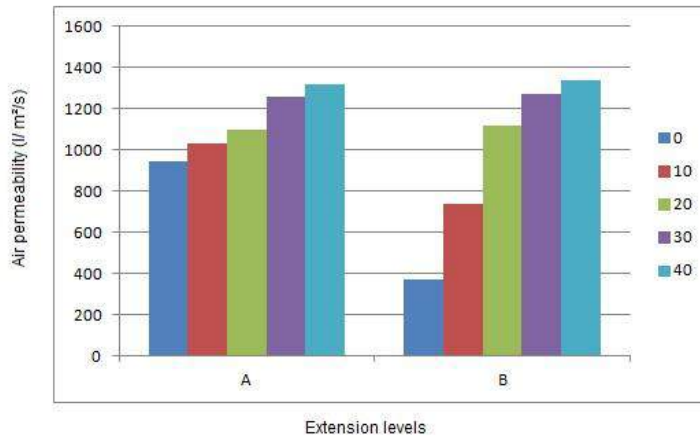


Figure 6. Air permeability values at various extension levels in wale direction (10-20-30-40%)

The differences between clothing surface temperature and body temperature in initial and after 10 minutes wear trials were investigated by thermal imaging software (Figure 7).

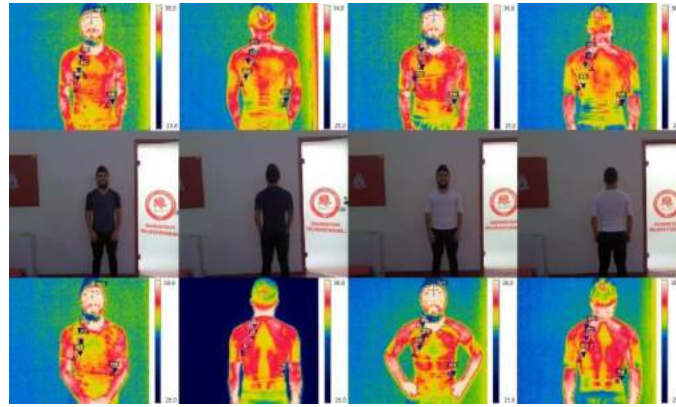


Figure 7. Thermal camera shots of initial wear trial (top row) and after 10 minutes (bottom line)

The results showed that the temperature differences of fabric B on all frontal and rear sections were higher. It can be said that fabric A is more capable in heat transfer due to its stable structure under extension (Figure 8).

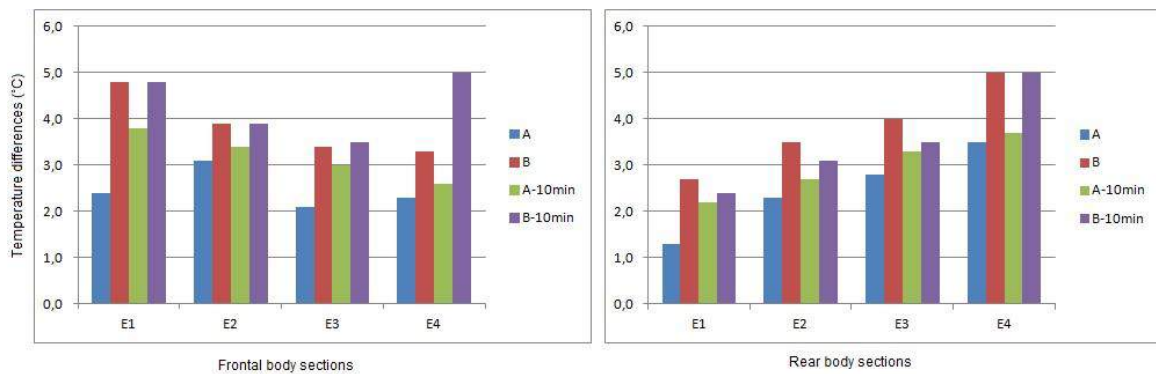


Figure 8. The differences between clothing surface temperature and body temperature in initial and after 10 mins wear trials

## 4. Conclusions

Nowadays consumers like better the final products having not only basic features and also multifunctional and aesthetic features. So manufacturers need to research and invest on new industrial skills for brand new products to meet the consumers' expectations. Design and production of auxetic garment using conventional yarns are still challenging and also interesting but the development of auxetic structures in knitted fabric are very limited. As the porosity is effective for heat transfer and permeability and porosity are strongly related to each other, we compared air permeability of fabrics in extended state. The results show that auxetic effect brings stability in air permeability thanks to its stable changing structure and it could have an advantage in thermal transfer performance. And also stable pore openings bring advantage in heat flux and restrain the excessive heat loss. In next study, the effect of different auxetic structures on thermal transfer performance will be investigated.

## References

- [1] Liu, R., Little, T. and Williams, Jr., Compression Form-fitted Athletic Wear: Pressure Performance, Moisture Management Properties under Different Tension Ratios and Corresponding Psychophysical Responses, *Fiber and Polymers*, (2014), Vol.15 (3), pp.632-644.
- [2] Gupta, D., Chattopadhyay, R. and Bera, M., Comfort properties of pressure garments in extended state, *Indian Journal of Fibre&Textile Research*, (2011), Vol.36, pp.415-421.
- [3] D Fournet, D. and Havenith, G., (2017), Assessment of Sport Garments Using Infrared Thermography, *Application of Infrared Thermography in Sports Science*, Chapter 7, pp 159-183.
- [4] Ma, P., Chang, Y., Boakye, A. and Jiang, G., (2017), Reviw on the knitted structures with auxetic effect, *The Journal of The Textile Institute*, Vol.108, 6, 947-961.
- [5] Hu H, Wang Z, Liu S (2011) Development of auxetic fabrics using flat knitting technology. *Text Res J* 81: 1493-1502.
- [6] Liu Y, Hu H, Lan JKC, Liu S (2010) Negative Poisson's raito weft-knitted fabrics. *Text Res J* 80: 856-863.
- [7] Glazzard M, Breedon P (2013) Weft-knitted auxetic textile design. *Physica Status Solidi B* 251: 267-272.
- [8] Ugbolue SC, Kim YK, Warner SB, Fan Q, Yang C, et al. (2012) Engineered warp knit auxetic fabrics. *Text Sci Eng* 2.

- [9] Alderson K, Alderson A, Anand S, Simkins V, et al. (2012) Auxetic warp knit textile structures. *Physica Status Solidi B* 7: 1322-1329.
- [10] Gibson, L. J., Ashby, M.F., Schajer, G.S. and Robertson, C.I., (1982), The mechanics of two-dimensional cellular materials, *Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 382, 25-42.
- [11] Ma, P., Chang, Y., & Jiang, G. (2015). Design and fabrication of auxetic warp-knitted structures with a rotational hexagonal loop. *Textile Research Journal*.
- [12] Wang, Z., & Hu, H. (2014a). 3D auxetic warp-knitted spacer fabrics. *physica status solidi (b)*, 251, 281–288.



# Manufacture of Large-Diameter Fiber Optic Cable by Extrusion Method and Improvement of Process Parameters

Osman Özdamar<sup>1\*</sup>, Ahmet Demirer<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi, Osmaneli M.Y.O., Makine Bölümü, Bilecik, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6353-6812)

<sup>2</sup> Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Bölümü, Sakarya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1252-9203)

(İlk Geliş Tarihi 1 Ekim 2019 ve Kabul Tarihi 8 Kasım 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.639420)

**ATIF/REFERENCE:** Özdamar, O. & Demirer, A. (2019). Manufacture of Large-Diameter Fiber Optic Cable by Extrusion Method and Improvement of Process Parameters. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 718-726.

## Abstract

Nowadays, energy resources are rapidly depleted and energy costs have risen. Therefore, the efficient use of energy resources has gained importance. The use of energy-saving fiber optic lighting systems has increased. In this study, PMMA and PS (crystal) polymers with high optical properties were used. The manufacture of fiber optic cable for the purpose of lighting by extrusion method was realized experimentally. The samples were manufactured at four different temperatures, three different production rates and two different forms. Fiber optic cables with different lengths and forms were compared in terms of light intensity. As a result of the study, the sample manufactured in PMMA was found to be better than the samples in PS. The best light intensity values of PMMA samples were observed at 2.2 m/min at 220 °C. On the other hand, the best light intensity was achieved in PS samples at 205 °C at 2.4 m/min. In addition, it was observed that there was an increase (10-17%) in the light intensity hollow rod samples compared to rod samples.

**Keywords:** PS, PMMA, extrusion method, fiber optic cable

## Ekstrüzyon Yöntemiyle Büyük Çaplı Fiber Optik Kablo Üretimi ve Proses Parametrelerinin İyileştirilmesi

### Öz

Enerji kaynaklarının hızla tükenmekle birlikte enerji maliyetlerinin yükseldiği günümüzde enerji kaynakları en verimli şekilde kullanmak gerekmektedir. Enerji tasarrufu sağlayan fiber optik aydınlatma sistemlerinin kullanımı günümüzde giderek artmaktadır. Yapılan bu çalışmada, optik özellikleri yüksek olan PMMA ve PS (kristal) polimerler kullanılmıştır. Ekstrüzyon yöntemiyle aydınlatma amaçlı fiber optik kablo üretimi deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen numuneler; dört farklı sıcaklık, üç farklı üretim hızında ve iki farklı formda gerçekleştirilmiştir. Farklı boy ve formlardaki ışık şiddetleri karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda PMMA'dan üretilen numune PS'ye göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. PMMA numunelerde ışık şiddetlerinde en iyi değer 220°C sıcaklıkta 2,2 m/dak da gerçekleşmiştir. PS numunelerde ise 205°C sıcaklıkta 2,4 m/dak da en iyi ışık şiddetine ulaşılmıştır. Dairesel delikli forma sahip numuneler, dolu formlu numunelere kıyasla ışık şiddetinde (%10-17) artış gözlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** PS, PMMA, Ekstrüzyon yöntemi, Fiber optik kablo

\* Sorumlu Yazar: Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi, Osmaneli M.Y.O., Makine Bölümü, Bilecik, Türkiye, ORCID: 0000-0001-6353-6812, [osman.ozdamar@bilecik.edu.tr](mailto:osman.ozdamar@bilecik.edu.tr)

## 1. Introduction

Fiber optic lighting system is the movement of light from a light source to the desired target point with the help of fiber optic cables. Fiber optic lighting system consists of three major components as light source, fiber optic cable and terminator. While light source produces the light required by the system, the fiber optic cable allows movement of the light from the light source to the desired target point. On the other hand, terminator provides the diffusion of the light transported by optical fiber cables into interior.

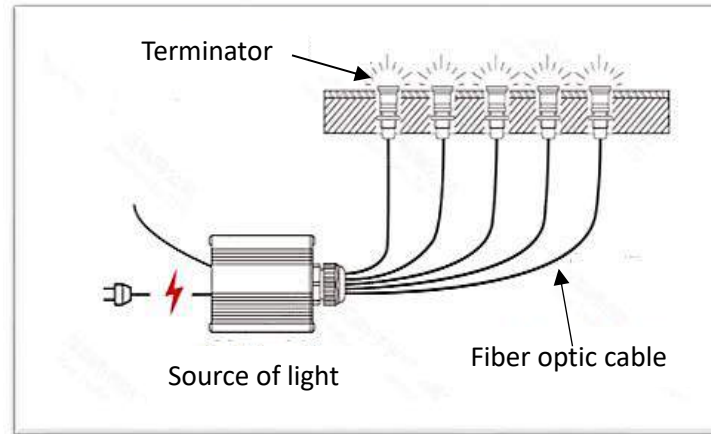


Figure 1. Major components of fiber optic cables

Transported the sun light into interior by optical fiber cables. They reached the light levels between 800 and 2824 lux. (Laila et al. 2017).

Compared the light performance of fiber optic cables with 3mm and 20mm diameter which are used in lighting. They concluded that when the diameter becomes greater, the intensity and the homogeneity of the light also become greater (Bahram et al. 2018).

Produced a 60 km cable with a diameter of 1 mm using plastic fiber optic cable preform/tube technology. In the study, plastic fiber optic cables were coated with polymethylmethacrylate (PMMA) on polystyrene (PS) core and 40% efficiency was obtained (Rebourgeard et al.1999).

Compared PMMA, PF, PC, PS polymers used in the manufacture of fiber optic cables; and found that fiber optic cables manufactured with PF were better in communication field than others. They also stated that the other polymers used in the comparison could be used in the areas as automotive, electronics, lighting, etc. (Harlin et al.2002).

Made comparison between polymer fiber-optic cables and glass fiber-optic cables; and they observed more losses in polymer fiber-optic cables. They stated that polymer fiber-optic cables were more efficient in terms of ease of use (Monroy et al. 2003).

Studied on the energy saving potential of the lighting system which was based on fiber optic lighting technology. They reached the conclusion that this potential ranged between 10.8% and 44% for Brazil and between 56% and 89% for the UK. (Ghisi et al. 2006).

In this study, it is aimed to determine the process conditions of PMMA, PS polymers used in the manufacture of fiber optic cables that transmit light in lighting and at the same time, it is aimed to produce a more efficient fiber optic cable by creating a space along the 1.5 mm diameter cable.

In the literature review, it was seen that the process conditions of the fiber optic cables used for communication were investigated, but the production conditions of the large diameter fiber optic cables used for lighting were not found. The production techniques and conditions for these products are regarded as trade secrets and are not transferred to the literature. In addition, in the literature no studies have been found on providing light transmission efficiency and gas output by creating a space in the middle of the large diameter fiber optic cables used in lighting.

## 2.Fiber Optic Cable Manufacture by Extrusion Method

Extruders machines are the machines that ensure the continuous production of plastic products with the desired cross-section, length; and precise dimensions. These machines are sometimes also called as extruders. The schematic representation of the extrusion line used in the study is shown in Figure 2.



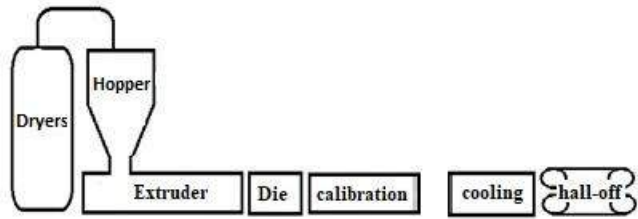


Figure 2. Schematic representation of the extrusion line

### 3. Material and Method

In this study, crystalline Polystyrene (PS) and Polymethylmethacrylate (PMMA) materials with high light transmittance were used for the manufacture of large diameter fiber optic cables used in transferring light to the desired environment. The light intensity capacities of the materials under different process conditions were investigated. In order to determine the appropriate extrusion production conditions, the efficiency of the fiber optic cable samples manufactured at different furnace temperatures and production speeds in terms of light intensity were investigated.

Table 1. Technical Properties of the Materials used in the Study

Properties	Materials	PS	PMMA
Trading name/company code		A-Tech 1200	Diakon CMG302
Manufacturer company		Styron	Lucite
Density (g/cm <sup>3</sup> )		1.05	1.18
Melting flow rate (200°C, 5 kg) (g/10 min.)		5	4.4
Refractive index		1.58	1.49
Tensile stress (MPa)		47	80
Tensile Elongation (%)		2	5
Izod Impact Resistance (kJ/m <sup>2</sup> )		14	1,8
Rockwell Hardness (M)		80	98
Vicat Softening Point (1 kg) °C		101	113

In this study, two different dies were designed for the manufacture of PS and PMMA large-diameter fiber-optic cables. First die was designed as rod and produce 10 mm diameter fiber optic cable. On the other hand the second die was designed as hollow rod and could produce 10 mm outside diameter and 1.5 mm inner outside fiber optic cables. In addition, calibration die equipment was manufactured to ensure the integrity of the products at the die outlet. The solid model drawing of the extrusion die is shown in Figure 3.

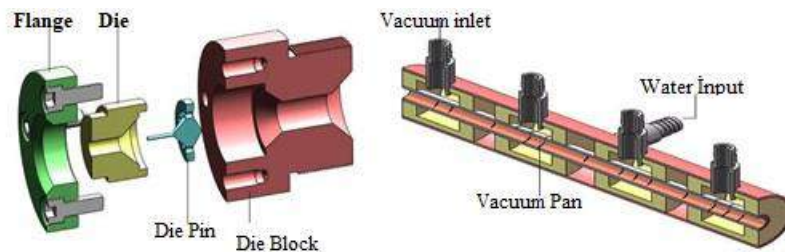


Figure 3. Solid model drawing of extrusion die and calibration die

In order to manufacture fiber optic cable, polymer materials were exposed to dehumidification drying in a drying furnace at 90 °C for 4 hours before the process. Then, the cable was manufactured at four different furnace temperatures, three different production (drawing) rates and at a constant 50 rpm extruder screw speed in all samples, as indicated in Table 2. In the manufacture process, firstly rod samples and then extrusion die pin were installed and the samples were manufactured as hollow rod.

Table 2. Technical Properties of the Materials used in the Study

Extrusion machine and technical properties	
Top-fed	
Single screw extruder barrel	
Capacity	10 kg/h - 500 kg/h
Screw Diameter	Ø50 mm
Screw length	1125 mm, L/D = 22.5
Motor power	7.5 kW - 10 BG

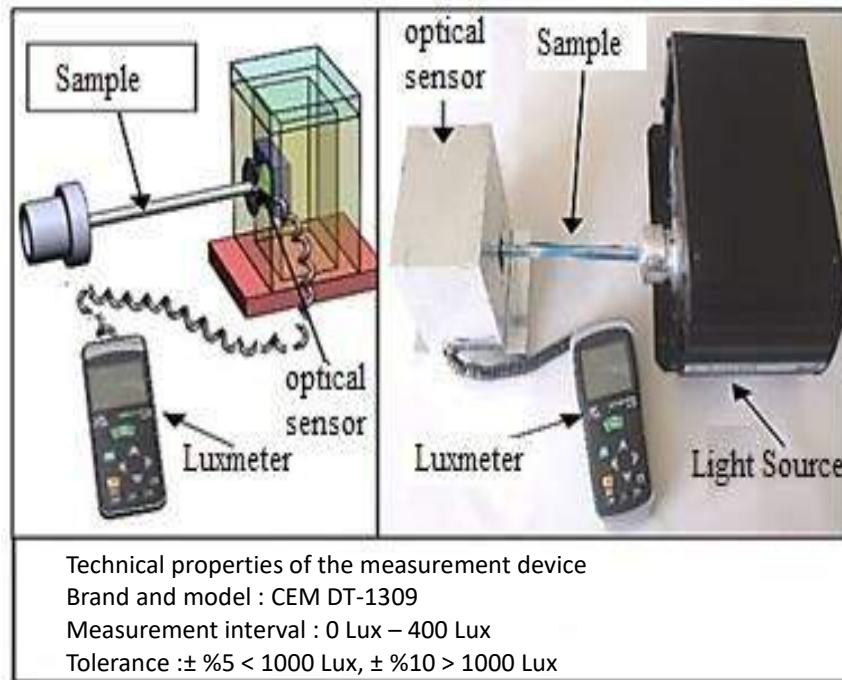


Figure 4.the measurement set up of the samples by Lux meter

The manufactured samples were divided into groups for light intensity measurement according to production rate and process temperatures. 10 cut ends of 20 cm, 50 cm and 100 cm lengths were sanded and polished (felting process with paste). First, the outer parts of the samples were covered with special gelatin tape for isolation and measurements were made and graphed. The measuring device (Luxmeter) was placed on the opposite of the light source, as shown in Figure 4.

Table 3. Process conditions of PMMA, PS Fiber optic cable extrusion

	Die Temperature (°C)	First Region Temperature (°C)	Second Region Temperature (°C)	Third Region Temperature (°C)	Production speed (m/min)	Screw rotation speed (rpm)
PMMA	210	205	200	195	2.0 2.2 2.4	50
	220	215	210	205		
	230	225	220	215		
	240	235	230	225		
PS	185	180	175	170	2.0 2.2 2.4	50
	195	190	185	180		
	205	200	195	190		
	215	210	205	200		

## 4.Result

### 4.1. Visual Analysis

As a result of the extrusion process, gas bubbles were observed in the interior of PS and PMMA materials since some moisture and gases (styrene etc.) presented in the polymer emerge. These gases form air bubbles on the sample (Figure 5a,b and Figure 6a, b). These bubbles also slightly reduce under different process conditions but do not completely disappear.



Figure 5. PMMA rod cable samples (a), and hollow rod samples (b)

In order to eliminate the problem of gas bubbles and to manufacture hollow rod samples with the diameter of  $\varnothing$  1.5mm, additional die pins were placed on the die and the samples were printed in extrusion. Vacuum was applied in the calibration process after the die output, gas formations in the melt were ejected from the center of the hole. Therefore, the gas bubble problem was eliminated in the samples, and a few gas bubbles were seen in some samples (Figure 5.a,b Figure 6.a,b). The reason for this is thought to be that the drying time was not kept long enough and the degassing unit was not sufficient in the extrusion machine.



Figure 6. PS rod optic cable samples (a), and hollow rod samples (b)

### 4.2. Light intensity analysis

The measurement results of the PMMA material at a production rate of 2.0–2.2–2.4 m/min, at four different process temperature of 210–220–230–240°C and at three different length (20–50–100 cm) are presented in Figure 7. For the fiber optic cables manufactured using PMMA polymer, the best light intensity was obtained at 220°C and 2.2m/min production rate.

The measurement results of the PS material at 2.0-2.2 and 2.4 m/min production speed, at four different production temperatures (210–220 °C –230 °C and 240 °C); and three different lengths (20–50–100 cm) are shown in Figure 8. Fiber optic cables manufactured using PS polymer had the best light intensity at 205°C and 2.4 m/min production rate. Figure 8. shows the comparison of the best light intensities of the samples.

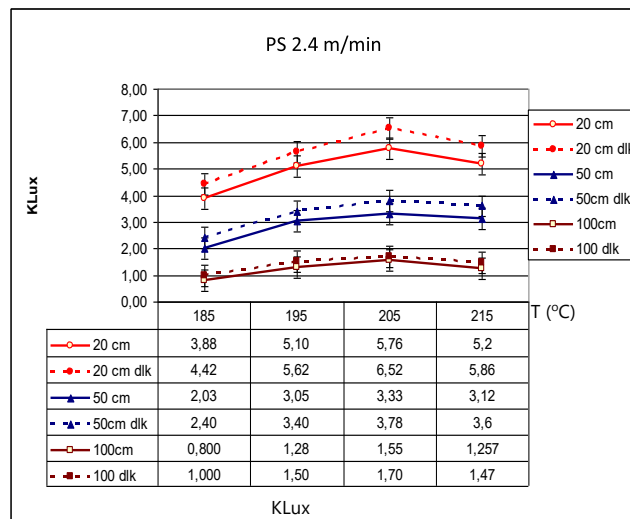
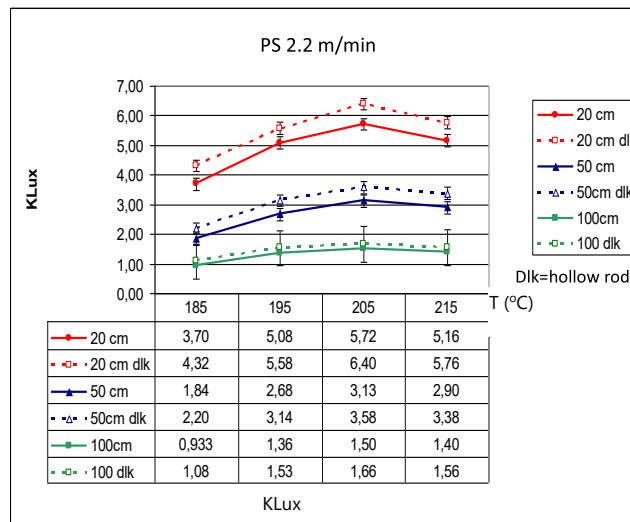
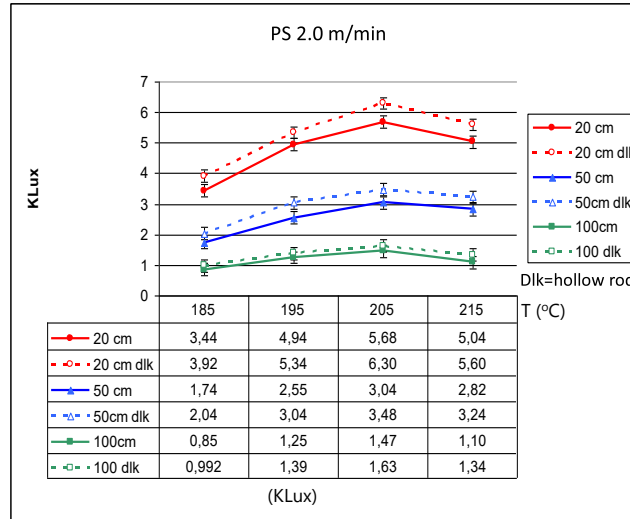


Figure 7. Light intensity of PMMA samples of different sizes and process temperatures at a production speed of 2.0 m / min, 2.2 m / min, 2.4 m / min.

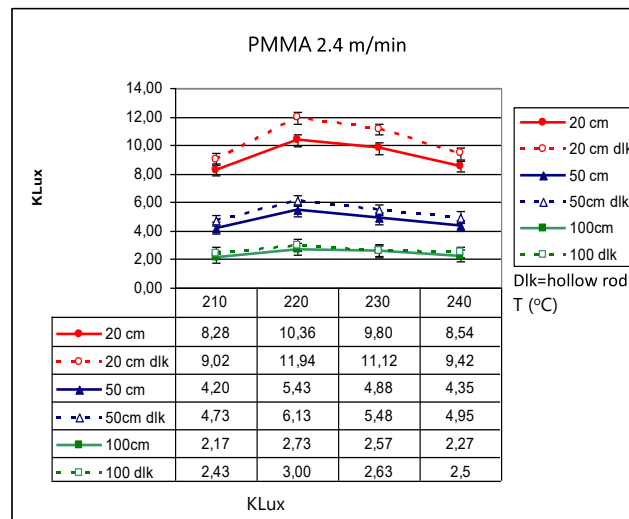
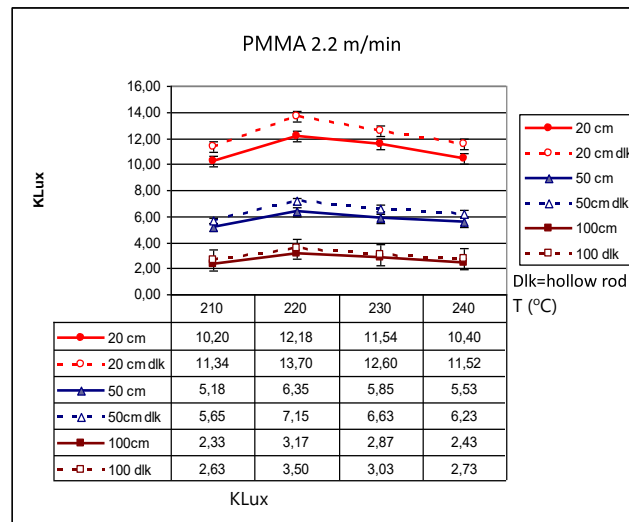
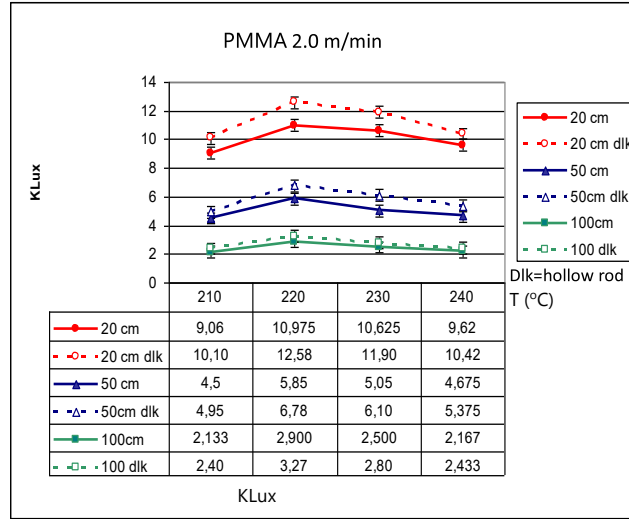


Figure 8. Light intensity of PS samples of different sizes and process temperatures at a production speed of 2.0 m / min, 2.2 m / min, 2.4 m / min.



Table 4 Optimum light intensity results of fiber optic cables manufactured using PMMA and PS polymer.

Sample length (cm)	PMMA(kLux)	PS (kLux)
20	12.18	5.76
20 dlk (hollow rod)	13.7	6.52
50	6.35	3.33
50 dlk (hollow rod)	7.15	3.78
100	3.17	1.55
100 dlk (hollow rod)	3.50	1.7

## 5. Discussion and Suggestions

In this study the manufacture of large-diameter fiber optic cables was conducted by using extrusion method. For this purpose, PMMA and PS polymer materials were used. Initially, it was found that there were air bubbles on the samples.

It was found that drying to remove gases in the polymer in order to prevent the formation of gas bubbles on the samples did not completely eliminate the gases, but greatly reduced them. In the study conducted to eliminate air bubbles, it was found that gas bubbles were seen because of the cross sectional thickness of the manufactured samples. It is known that the PMMA and PS polymers were processed in the extruder machine used in the production before but there were no gas bubbles because the cross-sections of the manufactured samples were small. In order to eliminate the gas bubbles of the manufactured samples, it was thought that the profile section would be thinned for the gas bubbles to disappear. In order to manufacture fiber optic cable in the form of pipe, the dies were modified and the dies were produced with 10 mm diameter and 1.5 mm hole diameter. Therefore the air bubbles of the sample were almost reduced.

In the study, extracting of the moisture and gases from polymer materials subjected to pre-process drying were applied according to the recommendations of the manufacturer. The polymer used in the manufacture of fiber optic cables was dried at 90 oC for 4 hours and therefore it was aimed to remove the moisture and gases. It was found that there were bubbles on the rod cable samples.

It was observed that the gas bubbles increased under process conditions for fiber optic cables manufactured using PMMA Polymer at temperatures above 220 °C and for PS polymer fiber optic cables manufactured at 210 °C. In addition, it was observed that the formation of the bubbles caused deviations during the transmission of light and decreased light intensity.

Observed the formation of gas bubbles in the manufacture of PMMA and PC based fiber optic cables with single screw extruder and found that no air bubbles formed in the manufacture of twin screw conical extrusion machine. As a result, the gas bubbles of fiber optic cables formed in single screw extruder are in parallel with our study. Therefore, it can be argued that the gas bubbles will disappear if twin screw conical extrusion machine and extrusion machine with degassing unit are used and sufficient drying time is taken into consideration (Ferents et al. 2004).

Conducted fiber optic manufacture by using Co-Extrusion method and PMMA and PS. Co-Extrusion method is a simple and fast method compared to other polymer optical fiber manufacture methods. They stated that air bubbles are formed in this method and studies should be performed to eliminate these air bubbles. (Moradi et al.)

In the current study, hollow rod cable sample was considered as a way to reduce the gas cells and since it can provide the discharge of the gas in the process. Due to the hollow rod profile form, the formation of gases is prevented by evacuating the gases through the holes in the middle of the sample. However, micro-level gas cells were also observed, and it was concluded that the use of a vacuum valve at several points in a more advanced twin screw extruder could solve this problem.

Obtained 4.5 kLux light intensity using 10 m fiber optic cable while they obtained 3 kLux light intensity by using 20 m fiber optic cable. They found that as the length increased, light losses also increased, which is parallel to the current study.

In this study, the die outlet diameter of the manufactured sample is 10 mm. It was observed that when the outlet temperature was increased, the sample began to stretch after it was removed from the die. Moreover, the outer surfaces of the samples were not smooth and there were bends in the sample since the sample did not contact the calibrated walls (David et al. (2013).

In the study, the best light intensity was observed in hollow rod samples at 220 °C production temperature and 2.2 m/min production rate in PMMA material and then in rod samples. It was found that as the length of the fiber optic cable increased, the transferred light intensity decreased and the light intensity decreased at high process temperatures and high tensile speeds. It addition, it was also found that the light intensity of hollow rod samples increased by 12% on average for PMMA and 17% higher for PS samples compared to rod samples.

## Acknowledgments

This study was presented in Sakarya University Institute of Science and Technology as a master's thesis (2011). This work was also supported in part by Sakarya University Research Projects Fund (No: SAU-BAPK-2007-05-04-002). End-date: 2010, Sakarya/Turkey.

## References

- LAILA S., MOHAMED M., (2017), Performance Assessment of Installed Low Cost Solar Daylighting System via Optical Fiber, *Energy Engineering*, 114:2, 37-55, DOI:10.1080 / 01998595.2017.11833484
- BAHRAM A., ALEJANDRA E., RICARDO R., AND MARISA D. (2018), Optimizing Natural Light Distribution for Indoor Plant Growth Using PMMA Optical Fiber: Simulation and Empirical Study, *Journal of Renewable Energy*, Volume 2018 Article ID 9429867, 10 pages Texas State University, San Marcos, TX, USA
- REBOURGEARD P., RONDEAUX F., BESNARD G. BLUMENFELD, BOURDINAUD M., CALVET J., CAVAN C., CHIPAUX R., GIGANON A., HEITZMANN J.,JEANNEY C., MICOLON P., NEVEU M., PEDROL T., PIERREPONT D., THÉVENIN J. (1999), Fabrication and measurements of plastic scintillating fibers, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 427, p. 543-567.
- HARLIN A., MYLLYMAKI H., GRAHN K. (2002), Polimeric Optical Fiber and Future Prospect in Textile İntegration, *Tempere University of Tegnology , Autex Research Journal* Vol.2,No3, September
- MONRAY T., BOOM H., KOONEN A., KHOE G., WATANABE Y., KOIKE Y., ISHIGURE T. (2003) Data transmission over polymer optical fiber, *Optical Fiber Technolgy* 9159-171
- GHISI E., TINKER J., EVALUTING (2006), The Potential for Energy Saving on Lighting by İntegrating Fiber Optics in Buldings, *Buldings and Environment* , 41 1611-1621
- FERENETS M., MYLLYMAKI H., GRAHN K.,SIPILA A. , HARLIN A. (2004), Mnufacturing Methods for Multi Step İndex Plastic Optical Fiber Materials , *Tempere University of Tegnology Autex Research Journal* , Vol.4,No3, December
- MORADI S., EBRAHIMI N.G. , GRANPAYEH N.A. MORAVVEG M.K. (2006), A Fast And Simple Method For Fabrication of Polymer Optical Fiber, *Iran Telecommunication Research Center (ITRC) Polymer Engineering Department, Tarrbiat Modares University, P. O. Box: 14115-143, Tehran , Iran*
- DAVID L., TARJA V. (2013), Illumination performance and energy saving of a solar fiber optic lightingsystem, *Optics Express*, Vol. 21, No. S4,July.



# **Yüksek Verimli ve Uzun Dönem Kararlı Perovskit Güneş Hücrelerinin Üretimi için Perovskit/Spiro-OMeTAD Arayüzeyinin Thiol Molekülleri ile Modifikasyonu**

Seçkin Akın<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Karaman, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9852-7246)

(İlk Geliş Tarihi 1 Ekim 2019 ve Kabul Tarihi 10 Kasım 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.640344)

**ATIF/REFERENCE:** Akın, S. (2019). Yüksek Verimli ve Uzun Dönem Kararlı Perovskit Güneş Hücrelerinin Üretimi için Perovskit/Spiro-OMeTAD Arayüzeyinin Thiol Molekülleri ile Modifikasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 727-735.

## **Öz**

Perovskit malzemesinin yüzey/sınır kusurları içeren yüzey morfolojisi, yüksek nem hassasiyeti ve operasyonel koşullarda hücre içine doğru meydana gelen iyon göçü perovskit güneş hücrelerinin çözüm bekleyen en önemli problemleri arasındadır. Arayüzey mühendisliği, perovskit güneş hücrelerinde bu tür sorunlara karşı kullanılan en etkili yöntemlerden biridir. Bu çalışmada, thiol türevi 1-phenyl-1H-tetrazole-5-thiol (PT(thiol)) moleküllerinin, perovskit/spiro-OMeTAD arasında arayüzey tabakası olarak kullanıldığı hücrelerinin üretimi gerçekleştirilmiştir. Arayüzey tabakasının kullanıldığı hücrelerin açık devre gerilim ( $V_{OC}$ ) değerlerinde 40 mV iyileşme sağlanarak %19.5 verim elde edilmiştir. Fotovoltaik performanstaki bu iyileşme perovskit tabakasının yüzeyindeki ve tane sınırlarındaki rekombinasyon merkezlerinin pasivasyonu ile açıklanırken; arayüzey tabakasının operasyonel kararlılık problemlerine ciddi bir katkı sağladığı da tespit edilmiştir. Sürekli ışınım altında ve %40 nem içeren bir ortamda gerçekleştirilen kararlılık test sonucunda arayüzey tabakalı hücrenin 300 saat sonunda başlangıç veriminin %75'ini koruduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak PT(thiol) moleküllerinin perovskit hücrelerin en önemli sorunlarından biri olan kararlılık problemlerine çözüm sunma potansiyeli olduğu; aynı zamanda yüzey özelliklerini de iyileştirerek hücre performansını arttırdığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Perovskit güneş hücreleri, Arayüzey modifikasyonu, 1-phenyl-1H-tetrazole-5-thiol, Hücre kararlılığı.

## **Modification of Perovskite/Spiro-OMeTAD Interface with Thiol Molecules for the Fabrication of Highly Efficient and Long-Term Stable Perovskite Solar Cells**

### **Abstract**

The surface morphology of the perovskite material with surface / boundary defects, high sensitivity to humidity, and ion migration into the cell under operational conditions are among the most important problems of perovskite solar cells. Interfacial engineering is one of the most effective methods against to such problems in perovskite solar cells. In this study, the cells in which thiol derivative 1-phenyl-1H-tetrazole-5-thiol (PT(thiol)) molecules were used as an interfacial layer between perovskite / spiro-OMeTAD have been fabricated. The open circuit voltage ( $V_{OC}$ ) values of the cells using the interface layer were improved by 40 mV and the efficiency of 19.5% was obtained. This improvement in photovoltaic performance is explained by the passivation of recombination centers on the surface of the

\* Sorumlu Yazar: Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Karaman, Türkiye, ORCID: 0000-0001-9852-7246, [seckinakin@kmu.edu.tr](mailto:seckinakin@kmu.edu.tr)  
<http://dergipark.gov.tr/ejosat>

perovskite layer and at the grain boundaries; it is also determined that the interface layer contributes to the problem of operational stability. Stability test performing under continuous illumination and 40% relative humidity displayed that the cell including interlayer maintained 75% of its initial efficiency after 300 hours. As a result, PT(thiol) molecules have the potential to provide solution to the stability problem, which is one of the most important problems of perovskite cells; it has also been found to improve cell performance by improving surface properties.

**Keywords:** Perovskite solar cells, Interfacial modification, 1-phenyl-1H-tetrazole-5-thiol, Cell stability.

## 1. Giriş

On yıldan kısa bir sürede %25.2 gibi yüksek bir verim değerine ulaşan organik-inorganik perovskit güneş hücrelerinin fotovoltaik piyasasında söz sahibi silikon hücrelere en iyi alternatif olduğu söylenebilir ("National Renewable Energy Laboratory (NREL)," 2019). Yüksek verim ve kolay üretim süreçlerine rağmen perovskit hücrelerin ticarileşmemesinin önündeki en büyük engellerden biri şüphesiz hücre mimarisinde boşluk transfer tabakası (hole transport layer, HTL) olarak kullanılan 2,2',7,7'- tetrakis(N,N-di-p-methoxyphenylamine)-9-9'-spirobifluorene (spiro-OMeTAD) malzemesinden kaynaklanmaktadır (Akin, Liu, ve ark., 2018; Ameen ve ark., 2016; Arora ve ark., 2017; Kim ve ark., 2019). Hücre mimarisinde perovskit tabakasından gelen boşlukların metal üst elektrota etkin bir şekilde iletilmesinden sorumlu olan spiro-OMeTAD malzemesi katkısız halde oldukça düşük bir iletkenlik ( $\approx 10^{-5}$  S cm<sup>-2</sup>) ve boşluk mobilitesi ( $\approx 10^{-4}$  cm<sup>2</sup> V<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>) sunmaktadır (Seo ve ark., 2018). Yük transferini ve dolayısıyla hücre performansını olumsuz yönde etkileyen bu durum spiro-OMeTAD malzemesinin lithium bis(trifluoromethanesulfonyl)-imide (Li-TFSI), cobalt(III) bis(trifluoromethanesulfonyl)-imide (FK-209) ve 4-tertbutyl pyridine (tBP) gibi katkı malzemeleri ile katılanma ihtiyacı doğurmaktadır. Mevcut katkı malzemeleri spiro-OMeTAD malzemesinin hızlı bir şekilde oksitlenerek daha iyi elektriksel parametreler sunmasını sağlarken perovskit malzemesinin uzun dönem kararlılığını da olumsuz yönde etkilemektedir (Ameen ve ark., 2016; Bi ve ark., 2016; Chen & Park, 2018). Özellikle yüksek nem tutma özelliği ile bilinen Li-TFSI katkısı havadaki nemi emerek hareketli Li iyonları sayesinde doğrudan perovskit tabakasının içine doğru penetre olur ve böylece neme karşı yüksek duyarlılığa sahip perovskit tabakasının bozunumunu hızlandırır (X. Huang ve ark., 2019; Lai ve ark., 2019). Benzer şekilde tBP katkısı da operasyonel koşullarda [PbI<sub>2</sub> · tBP] kompleks yapısını oluşturarak hücre performansının kötüleşmesine sebep olmaktadır. Bir diğer aşılması gereken engel de özellikle operasyonel koşullarda spiro-OMeTAD malzemesinin kristallenerek hücre performansını olumsuz yönde etkilemesidir (Aitola ve ark., 2017).

Hücrenin nem ve termal kararlılığını etkileyen bu sorunların çözülmesi amacıyla çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden biri de alternatif HTL malzemelerinin perovskit hücrelerde test edilmesidir. Bu yaklaşım doğrultusunda sayısız organik ve inorganik tabanlı malzeme hücre mimarisinde kullanılarak spiro-OMeTAD malzemesinin sunduğu verim değerinden ödün verilmeden mevcut problemlerin çözülmesi amaçlanmıştır. Ancak elde edilen bulgular göstermiştir ki; yalnızca sınırlı sayıda malzeme spiro-OMeTAD malzemesinin sunduğu verim değeri ile kıyaslanabilir bir verim değeri sunmaktadır. Diğer taraftan spiro-OMeTAD ile kıyaslanabilir verim sunan poly[bis(4-phenyl)-(3,5-dimethylphenyl)amine] (PTAA) (Yang ve ark., 2017) ve N<sup>2</sup>,N<sup>2'</sup>,N<sup>7</sup>,N<sup>7'</sup>-tetrakis(9,9-dimethyl-9H-fluoren-2-yl)-N<sup>2</sup>,N<sup>2'</sup>,N<sup>7</sup>,N<sup>7'</sup>-tetrakis(4-methoxyphenyl)-9,9'-spirobifluorene]-2,2',7,7'-tetraamine (DM) (Jeon ve ark., 2018) gibi organik tabanlı HTL malzemelerinin de düşük elektriksel parametreler sebebiyle katılma ihtiyacı duyulması çalışmaların yönünü katkı malzemesi gerektirmeyen HTL malzemelerine çevirmiştir. Matsui v.d. tarafından triarylamine-tabanlı polimerik malzemeler herhangi bir katkı malzemesi kullanılmadan perovskit hücre mimarisinde HTL malzemesi olarak test edilmiş ve %12 verim değeri elde edilmiştir (Matsui ve ark., 2016). Ayrıca 85 °C sıcaklıkta 140 saat boyunca gerçekleştirilen termal kararlılık testlerinde de oldukça iyi bir kararlılık elde edildiği vurgulanmıştır. Bir başka çalışmada ise Zhang v.d. amonyum tabanlı X44 molekülünü sentezleyerek spiro-OMeTAD malzemesine alternatif olarak perovskit hücrelerde kullanmışlardır (Zhang ve ark., 2017). Katkısız halde  $9.03 \times 10^{-4}$  S cm<sup>-1</sup> iletkenlik sunan X44 tabanlı hücrenin performansı %15.2 olarak rapor edilirken bu değer 15 gün sonunda %16.2'ye ulaştığı bildirilmiştir. Operasyonel koşullarda da başlangıç verim değerinin %90'ını koruduğu belirlenen X44 malzemesinin >%50 nemli ve yüksek sıcaklık değerlerinde (60 °C'ye kadar) gerçekleştirilen ölçüm sonuçları da başarılı sonuçlar vermiştir. Bu anlamda katkı gerektirmeyen ve yüksek iletkenlik/mobilite sunan inorganik tabanlı HTL malzemeleri büyük bir potansiyel sunsa da bu malzemelerin inorganik doğasından ve perovskit/HTL ve HTL/metal üst kontak arayüzlerinde meydana gelen yoğun arayüzey durumları nedeniyle iyi verim değerlerine ulaşamadığı bilinmektedir. Mevcut çalışmalardan da görüldüğü gibi kararlılık konusunda son derece iyi gelişmeler sağlansa da katkı içermeyen HTL tabanlı hücrelerin performansı bu hücre türünün ticarileşme potansiyelini oldukça zayıflatmaktadır. Benzer bulgular herhangi bir HTL malzemesinin kullanılmadığı (HTL-free) hücre mimarisinde de karşımıza çıkmaktadır. Bu alanda son yıllarda iyi bir ilerleme sağlansa da etkin bir boşluk transferinin gerçekleştirilemediği bu mimaride rapor edilen verim değerleri ticarileşme hedefinden oldukça uzak kalmıştır (Abu Laban & Etgar, 2013; Mei ve ark., 2014; Rong ve ark., 2015).

Şu ana kadar rapor edilen çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde hiçbir HTL malzemesinin spiro-OMeTAD, PTAA, DM HTL malzemeleri kadar etkin bir yük transferi gerçekleştirmediği ve yüksek hücre performansı sunmadığı görülmektedir. Bu durumda hücre performansından ödün vermeden nem ve termal kararlılık problemlerine çözüm sunmak için yeni yöntemlere ihtiyaç duyulduğu görülmektedir. Bu noktada geliştirilen en önemli yöntemlerden biri de perovskit/HTL arasında bir arayüzey malzemesinin kullanımı olmuştur. Böylece hem spiro-OMeTAD malzemesinin hücre performansı üzerindeki üstünlüğü sürdürülebilir hem de spiro-OMeTAD malzemesinin içerdiği katkı maddeleri sebebiyle ivmelenen hücre bozunumu giderilebilecektir. Bu konuda son yıllarda bir çok malzeme perovskit/HTL arayüzeyinde denenmiş ve oldukça iyi sonuçlar rapor edilmiştir. 2019 yılında Akin v.d. CsPb(Br,I)<sub>3</sub> kuantum noktacıkları (QDs) perovskit/spiro-OMeTAD arayüzeyinde kullanarak hem perovskit malzemesinin yüzey pasivasyonunu sağlayarak hücre verimini

iyileştirmiş hem de iyon göçünü engelleyerek uzun dönem hücre kararlılığına katkı sağlamışlardır (Akin ve ark., 2019). Gerek hücre veriminde gerekse hücre kararlılığında benzer bir iyileşme de Huang v.d. tarafından 2018 yılında rapor edilmiştir (L. B. Huang ve ark., 2018). Bu çalışmada thiophene türevi poly(3-hexylthiophene) (P3HT) malzemesi perovskit/spiro-OMeTAD arayüzeyini iyileştirmek amacı ile kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Verim değerinin arayüzey malzemesinin kullanılması ile %15 değerinden %19.5 değerine arttığı rapor edilirken, hücrelerin foto-kararlılık ölçümlerinin de iyileştiği vurgulanmıştır.

Bu çalışmada ise literatürde ilk defa hidrofobik davranışı ile bilinen thiol türevi 1-phenyl-1H-tetrazole-5-thiol (PT-thiol) molekülleri perovskit/spiro-OMeTAD arasında arayüzey malzemesi olarak kullanılmış ve ilgili malzemenin hem hücre performansına hem de uzun dönem hücre kararlılığına etkisi incelenmiştir. Farklı konsantrasyon değerlerinde (1, 5, 10 ve 20 mg/ml) hazırlanan PT(thiol) molekülleri döndürerek kaplama yöntemi ile perovskit tabaka üzerine büyütülerek kullanılan bu çalışmada 10 mg/ml konsantrasyona sahip arayüzey malzeme varlığında %19.5 verim değeri elde edilmiştir. Daha da önemlisi sürekli ışınım altında gerçekleştirilen operasyonel kararlılık testlerinde de oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen bulgular göz önünde bulundurulduğunda arayüzey malzeme kullanımının perovskit hücre performansını iyileştirmenin yanında iyi bir koyucu tabaka görevi de üstlenerek hücrenin bozunumunu önemli ölçüde geciktirdiği söylenebilir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Hücre Üretimi

#### 2.1.1. Alttaşların Temizleme İşlemi

Hücre üretiminde alttaş olarak 1.4 cm x 2.6 cm boyutlarında flor-katkılı kalay oksit (fluorine-doped tin oxide, FTO) kaplı camlar kullanılmıştır. Kullanım öncesinde alttaşlar deterjanlı su içerisinde 30 dk boyunca ultrasonik olarak yıkanmıştır. Daha sonra de-iyonize su ile durulanan alttaşlar sırasıyla aseton ve etanol içerisinde 15'er dk boyunca yine ultrasonikasyon işlemine maruz bırakılmıştır. Temizleme işlemi sonrasında azot gazı ile kurutulan alttaşlar organik kalıntıların ve izlerin yüzeyden tamamen uzaklaştırılması için 15 dk boyunca UV-O<sub>3</sub> cihazında bekletilmiştir.

#### 2.1.2. Kompakt ve Mezoporoz TiO<sub>2</sub> Çözeltilerinin Hazırlanması ve Kaplama İşlemi

Titanyum diizopropoksit bis(asetilasetonat) başlangıç kimyasalının etanol içerisinde hacimce 1:9 oranında seyreltilmesiyle hazırlanan titanyum dioksit (TiO<sub>2</sub>) çözeltisi püskürtme tekniği kullanılarak 450 °C sıcaklıkta ~40 nm kalınlıkta olacak şekilde FTO alttaşların yüzeyine kaplanmıştır. Elde edilen kompakt TiO<sub>2</sub> (c-TiO<sub>2</sub>) tabakası püskürtme işlemi sonrası yaklaşık 20 dk süre ile 450 °C sıcaklıkta tavlama işlemine bırakılmıştır. Oda sıcaklığına soğutulan c-TiO<sub>2</sub> kaplı alttaşların yüzeylerine döndürerek kaplama tekniği ile mezoporoz TiO<sub>2</sub> (mp-TiO<sub>2</sub>) çözeltisi kaplanmış ve 450 °C sıcaklıkta 30 dk süre ile yeniden tavlama işlemine maruz bırakılmıştır. Mezoporoz çözelti TiO<sub>2</sub> pastanın etanol içerisinde ağırlıkça 1:6 oranında seyreltilmesiyle hazırlanmıştır.

#### 2.1.3. Perovskit Çözeltisinin Sentezi ve Kaplama İşlemi

Başlangıç malzemesi olarak kullanılan metilamonyum iyodür (MAI) ve kurşun iyodür (PbI<sub>2</sub>) kimyasalları hacimce 1:4 oranında dimetil sülfoksit / dimetilformamid içerisinde çözülürerek 1.35 M konsantrasyona sahip tekli katyon metilamonyum kurşun iyodür (MAPbI<sub>3</sub>) perovskit çözeltisi hazırlanmıştır. Perovskit tabakasının büyütme işleminde tek-adımlı büyütme tekniği tercih edilmiştir. Döndürerek kaplama tekniği ile FTO/c-TiO<sub>2</sub>/mp-TiO<sub>2</sub> yüzeyine büyütülen perovskit tabakasının hızlı bir şekilde kristallenmesini sağlamak amacıyla döndürme işleminin bitimine 10 sn kala klorobenzen (anti-çözücü) perovskit yüzeyine damlatılmıştır. Kaplama işlemi sonrasında ise perovskit kaplı filmler 100 °C sıcaklıkta 45 dk süre ile tavlanaarak siyah renkte perovskit filmin oluşumu tamamlanmıştır.

#### 2.1.4. Arayüzey Çözeltisinin Sentezi ve Kaplama İşlemi

Arayüzey malzemesi olarak kullanılan PT(thiol) başlangıç kimyasalı farklı konsantrasyon değerlerinde (1, 5, 10 ve 20 mg/ml) 2-propanol içerisinde çözülürerek hazırlanmış ve döndürerek kaplama tekniği kullanılarak perovskit yüzeyine büyütülmüştür. Büyütme işlemi sonrası çözücünün yüzeyden uzaklaştırılması amacı ile 80 °C'de 5 dk kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir.

#### 2.1.5. Spiro-OMeTAD Çözeltisinin Sentezi ve Kaplama İşlemi

Spiro-OMeTAD çözeltisi klorobenzen çözücüsünde Li-TFSI ve tBP katkı maddelerinin de eklenmesiyle hazırlanmıştır. Spiro-OMeTAD:Li-TFSI:tBP konsantrasyonu molar olarak 1.0:0.5:3.3 oranında olacak şekilde hazırlanmıştır. Spiro-OMeTAD çözeltisi perovskit ya da perovskit/PT(thiol) filmlerin üzerine döndürerek kaplama tekniği ile kaplanmıştır.

#### 2.1.6. Üst Kontakların Metalizasyonu

Son olarak altın (Au) metal üst kontakların kaplanması amacıyla filmler termal buharlaştırma ünitesine alınmıştır. Uygun bir maske yardımıyla metal üst kontaklar spiro-OMeTAD film yüzeyine ~80 nm kalınlıkta olacak şekilde buharlaştırılmıştır.

## 2.2. Karakterizasyon Teknikleri

### 2.2.1. Üretilen Filmlerin Karakterizasyonu



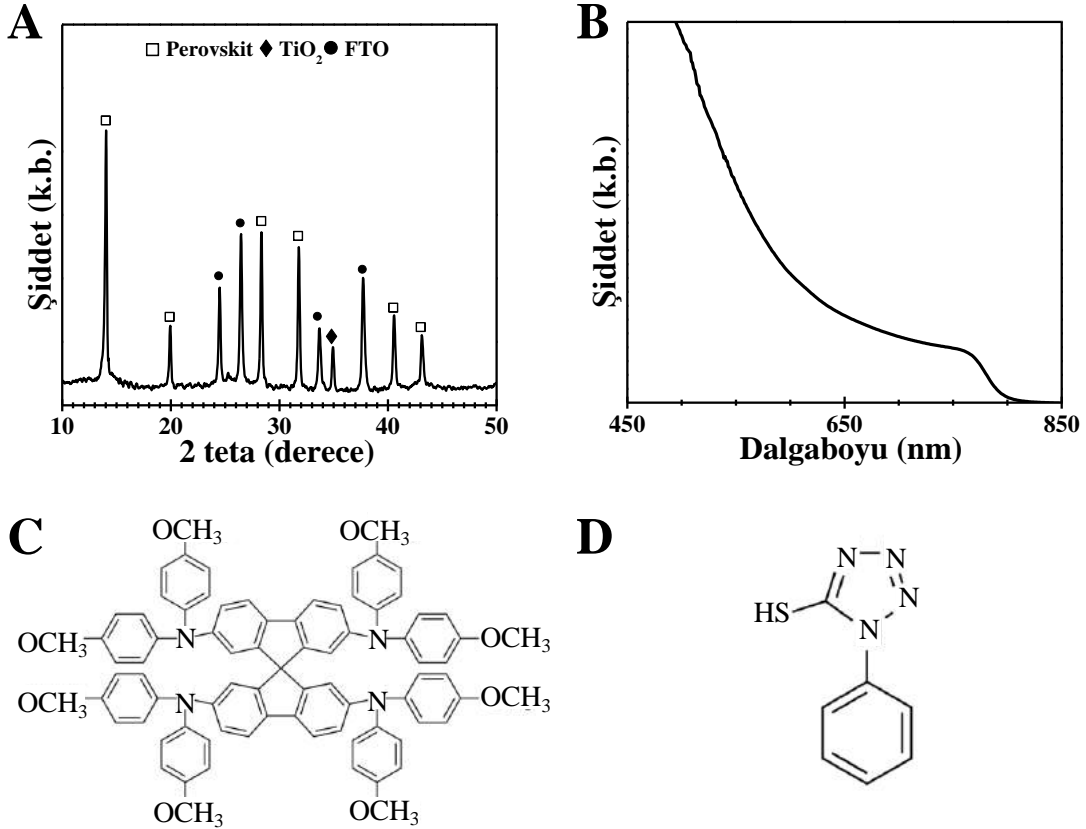
Üretilen perovskit filmlerin kristal yapıları Bruker D8 Advance model difraktometre ile analiz edilmiştir. Üretilen perovskit filmin optik soğurum spektrumları Varian CARY-500 model spektrofotometre ile incelenmiştir. Arayüzey içeren/içermeyen perovskit tabakaların morfolojik analizleri Zeiss marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile karakterize edilmiştir. Perovskit ve perovskit/PT(thiol) yüzeylerinin hidrofobik davranışı Krüss DSA100 cihazı yardımıyla temas açısı ölçümü ile ölçülmüştür. Kullanılan PT(thiol) arayüzeyinin perovskit/HTL arayüzeyinde meydana gelen yük transferine ve rekombinasyon kinetiğine etkisi Fluorolog 322 model spektrofluorometre ile analiz edilmiştir.

### 2.2.2. Üretilen Hücrelerin Karakterizasyonu

Hücrelerin akım-voltaj (I-V) karakteristikleri oda sıcaklığında ve dış ortamda ölçülmüştür. Hücreye ışık altında herhangi bir ön-koşullandırma olmaksızın bir dış gerilim uygulanırken, üretilen fotoakım Keithley 2400 model sistem ile 50 mV/s tarama hızında kaydedilmiştir. Işık kaynağı olarak 450 W gücünde Xenon lamba (Oriell) kullanılmıştır. Hücreler, yanlardan ışık saçılmasını önlemek ve aktif alanı belirlemek amacıyla açıklık alanı, 0.16 cm<sup>2</sup> olan ve yansıtıcı olmayan siyah metal bir maske ile kapatılmıştır. Güneş hücrelerinin IPCE (Incident photon to current efficiency) spektrumları 300 W Xenon lambaya sahip Aekeo-Ariadne model cihaz ile kaydedilmiştir. Hücrelerin operasyonel kararlılık testleri Biologic MPG2 potansiyostatlı 100 mWcm<sup>-2</sup> ışık şiddeti yoğunluğuna sahip beyaz ışık yayan diyot lamba altında, özel olarak tasarlanmış numune tutucular yardımıyla ~%40 bağıl neme sahip azot ortamında ölçülmüştür.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada kolay bir üretim süreci sunması bakımından tekli katyon perovskit (MAPbI<sub>3</sub>) yapısı kullanılmıştır. Öncelikle üretilen perovskit filmlerin yapısal ve optik özellikleri analiz edilerek perovskit malzemesinin istenilen kalitede elde edilip edilmediği kontrol edilmiştir. Üretilen perovskit filmlerin kristal kalitelerini incelemek amacı ile XRD analiz sonuçlarından faydalanılmıştır. Bu çalışma kapsamında üretilen perovskit filmine ait XRD deseni Şekil 1a'da verilmiştir. XRD deseni incelendiğinde provskit yapısının iyi bir şekilde kristallendiği ve alttaştan gelen FTO ve TiO<sub>2</sub> piklerinin haricinde istenmeyen ikincil fazları içermediği tespit edilmiştir. XRD deseninde gözlemlenen tüm pikler perovskit kristal yapısına ait olup; literatürde rapor edilen değerler ile uyum içindedir (Hoque ve ark., 2016; Quarti ve ark., 2016).

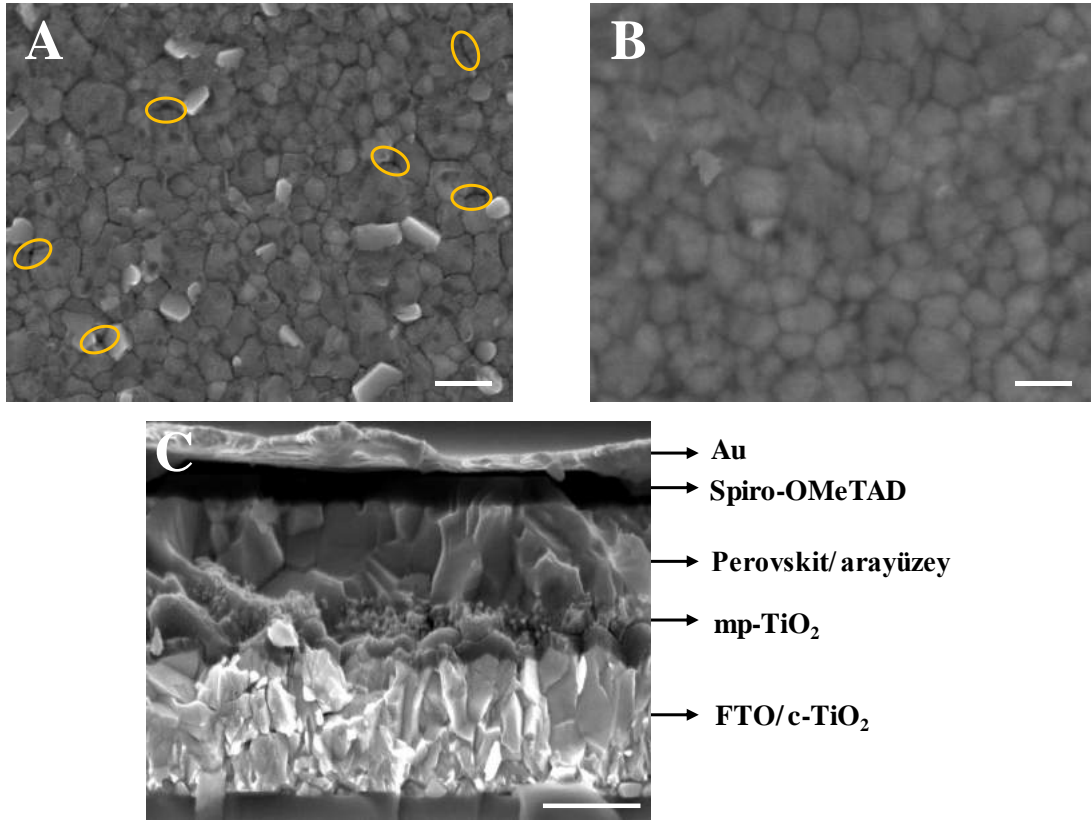


Şekil 1. (a) Üretilen perovskit filmine ait XRD deseni (b) Perovskit filmine ait dalgaboyunun bir fonksiyonu olarak soğurum spektrumu (c) Spiro-OMeTAD molekülünün kimyasal yapısı (d) PT(thiol) molekülünün kimyasal yapısı

İyi bir kristalitenin yanısıra perovskit tabakasının geniş bir dalgaboyu aralığında yüksek soğurum sunması da hücre performansı açısından son derece önemlidir. Üretilen perovskit filmin soğurum spektrumu Şekil 1b'de verilmiştir. Elde edilen soğurum spektrumu incelendiğinde soğurum kenarının yaklaşık 790 nm (1.58 eV) olduğu görülmektedir. Bu değer literatürde rapor edilen benzer reçete ile üretilen perovskit filmlerin soğurum spektrumu ile sıkı bir uyum içindedir (Ma ve ark., 2019; Pazos-Outon ve ark., 2018).

Yüksek performans sunan hücrelerde bir diğer önemli parametre de perovskit malzemesinin yüzey özellikleridir. Öyle ki, iğnedeliği içermeyen sıkı bir yüzey morfolojisi hem yük taşımında olası kayıpları engelleyecek hem de tabakalar arasında oluşabilecek kısa devre problemini ortadan kaldıracaktır. Perovskit tabakası ile ilgili bu iki durum hücre içerisinde meydana gelen rekombinasyon mekanizmaları ile de yakından ilgilidir. Bir diğer ifade ile perovskit yüzeyinde veya tane sınırlarında meydana gelen tuzak durumları rekombinasyon merkezi gibi davranarak fotovoltajik performansı olumsuz yönde etkileyecek potansiyele sahiptir. Üretilen perovskit filmine ait yüzey morfolojisi SEM görüntüleri ile analiz edilmiş ve Şekil 2a'da paylaşılmıştır. Üstten görünüm yüzey morfolojisi incelendiğinde perovskit yapısını oluşturan tanelerin 200-300 nm aralığında uniform bir şekilde büyüdüğü görülmektedir. Ancak tane sınırlarında yer yer boşlukların ve derin yarıkların varlığı da dikkati çekmektedir. Bu boşluklar ve yarıklar operasyonel koşullarda rekombinasyon merkezi gibi davranarak hücre performansını düşürmektedir. Çünkü, bu tuzak durumları hücre içerisinde gerek spiro-OMeTAD (Şekil 1c) malzemesindeki Li iyonlarının gerekse metal üst kontaktaki Au iyonlarının perovskit tabakasına doğru göçüne ve akım kaçaklarına neden olarak hücre kararlılığını ciddi oranda düşürmektedir (Akin ve ark., 2019; Akin, Liu, ve ark., 2018; Vidal ve ark., 2019).

Bu çalışmada perovskit yüzeyinde bulunan tuzak seviyelerinin pasivize edilerek hücre veriminin iyileştirilmesi ve aynı zamanda Li ve/veya Au iyonlarının perovskit tabaka içerisine penetre olmasını engelleyerek uzun dönem hücre kararlılığını iyileştirmek amacıyla PT(thiol) (Şekil 1d) arayüzeyi perovskit tabaka üzerine büyütülmüştür. Şekil 2b'de verilen PT(thiol) arayüzeyi içeren perovskit filmin SEM görüntüsü incelendiğinde de açık bir şekilde görüldüğü gibi arayüzey malzemesi perovskit film yüzeyindeki tane sınırlarını ve derin yarıkları iyi bir şekilde doldurarak pasivize etmektedir. Bu durum tane sınırlarında meydana gelen elektronik kayıpları minimize ederek fotovoltajik performans açısından son derece önemli bir potansiyel sunmaktadır. Ayrıca düşük tuzak konsantrasyonuna sahip PT(thiol) arayüzeyi içeren perovskit filmin operasyonel koşullarda olası kaçak akım ve/veya kısa devre problemlerini de önemli bir oranda azaltma potansiyeli mevcuttur. Mevcut yüzey görüntüsünden de anlaşıldığı gibi arayüzey kaplama kalınlığı oldukça ince bir tabaka olup; Şekil 2c'de verilen tüm hücrenin kesit alan SEM görüntüsü ile de bu durum desteklenmektedir. İlgili kesit alan SEM görüntüsünden tüm tabakaların birbirleriyle iyi bir bağlantı kurduğu da söylenebilir.

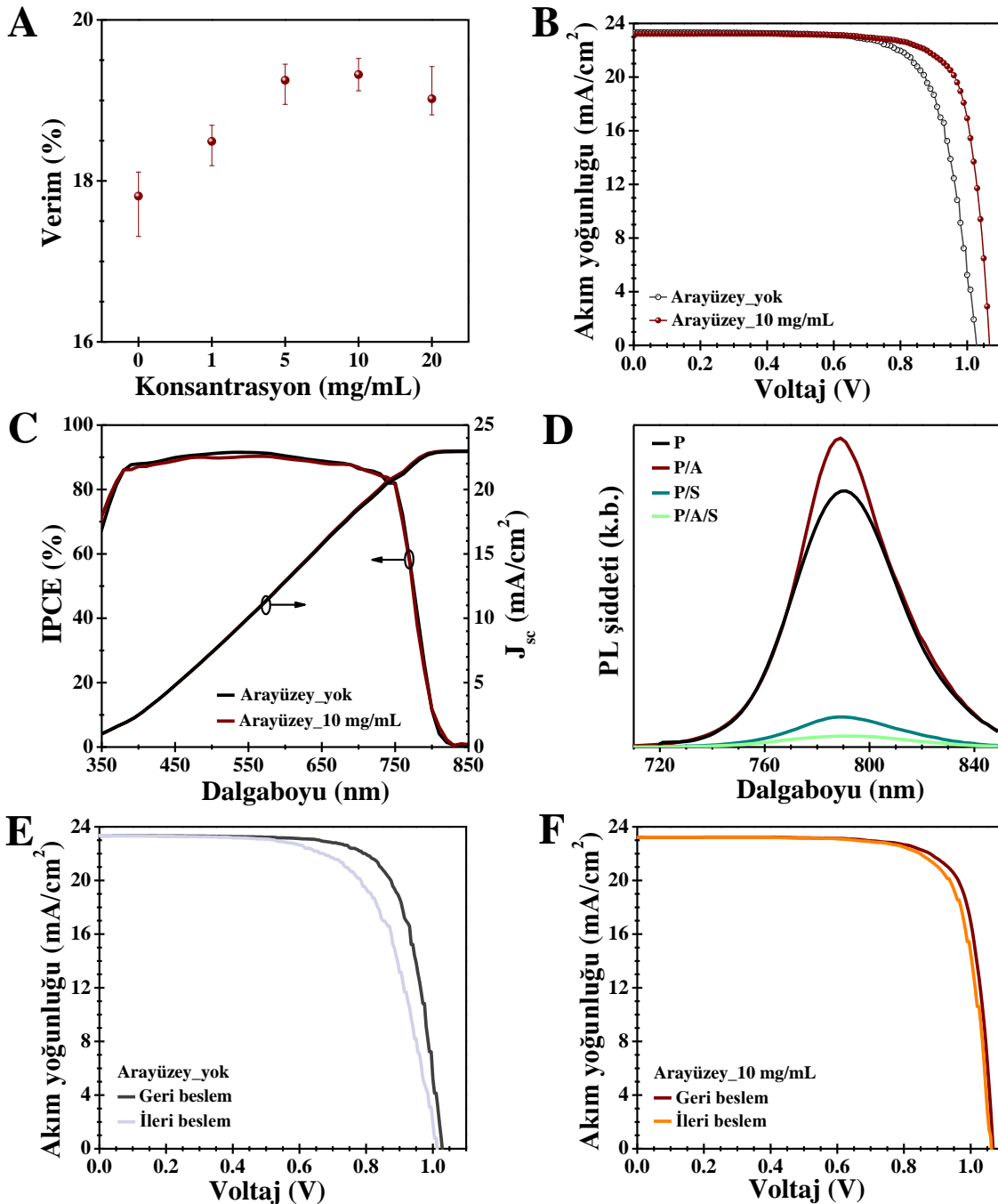


Şekil 2. (a) Üretilen perovskit filmin üstten SEM görüntüsü (b) Perovskit filmin arayüzey tabakanın varlığında üstten SEM görüntüsü (c) Arayüzey tabaka kullanılan hücrenin kesit alan SEM görüntüsü (ölçek: 500 nm)

Kullanılan PT(thiol) arayüzey malzemesinin hücre performansı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla güneş hücreleri üretilmiş ve fotovoltajik karakterizasyonları gerçekleştirilmiştir. Arayüzey çalışmalarında dikkate alınması gereken en önemli parametrelerden biri arayüzey malzemesinin konsantrasyon değeridir. Optimum arayüzey malzeme konsantrasyonunu belirlemek amacıyla farklı konsantrasyon değerlerinde (1, 5, 10 ve 20 mg/mL) hazırlanan arayüzey malzemesi perovskit yüzeyine büyütülerek fotovoltajik parametrelerin değişimi analiz edilmiştir. Her konsantrasyon değeri için 8 hücre üretilmiş ve konsantrasyona bağlı ortalama verim değişimi Şekil 3a'da paylaşılmıştır. 1 mg/ml konsantrasyonda hazırlanan arayüzey malzemesinin hücre performansını kısmen

iyileştirdiği görülürken; 5 ve 10 mg/ml konsantrasyonlarda belirgin bir verim artışı olduğu dikkati çekmektedir. Konsantrasyon değeri 20 mg/ml değerine çıktığında ise arayüzey kalınlığına bağlı olarak yük transferinin zayıfladığı ve hücre performansının düştüğü görülmektedir. Mevcut ön-çalışma analiz sonuçları doğrultusunda 10 mg/ml konsantrasyon değerinin hücre üretimi için en uygun değer olduğu tespit edilmiştir.

Optimum konsantrasyon değerinde en iyi performansa sahip hücrelerin Şekil 3b'de sunulan J-V eğrisinden PT(thiol) arayüzey malzemesinin yapı içerisine dahil edilmesi ile özellikle FF ve  $V_{OC}$  değerlerinin iyileştiği bunun da hücre verimini iyileştirdiği sonucuna varılmıştır (Tablo 1). Arayüzey varlığında %19.5 verim elde edilen bu çalışmada en iyi performansı gösteren kontrol hücresinin verim değeri ise %18.1 olarak hesaplanmıştır. FF ve  $V_{OC}$  değerlerindeki iyileşmelerden kaynaklanan bu verim artışı perovskit tabakasının yüzey özelliklerinin iyileştirilerek hücre içerisindeki elektron-boşluk çiftlerinin rekombinasyon oranını düşürmesine atfedilebilir (Kim ve ark., 2019; Sherkar ve ark., 2017; Tress ve ark., 2018). Diğer taraftan arayüzey varlığında hücrenin  $J_{SC}$  değeri üzerinde herhangi kayda değer bir değişimin olmadığı da dikkati çekmektedir. J-V eğrilerinden elde edilen  $J_{SC}$  değerleri ( $\sim 23.1 \text{ mA/cm}^2$ ) IPCE spektrumu aracılığı ile de test edilerek desteklenmiştir (Şekil 3c). Benzer  $J_{SC}$  değerlerinin bir sonucu olarak da hücrelerin geniş bir bölgede iyi bir kuantum verimlilik ( $>85$  üzerinde) sunduğu ve spektrumların benzer bir trend sergilediği görülmektedir. Bu durum kullanılan PT(thiol) arayüzey kalınlığının perovskit soğurucu tabakasının soğurum özellikleri üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı anlamına gelmektedir.



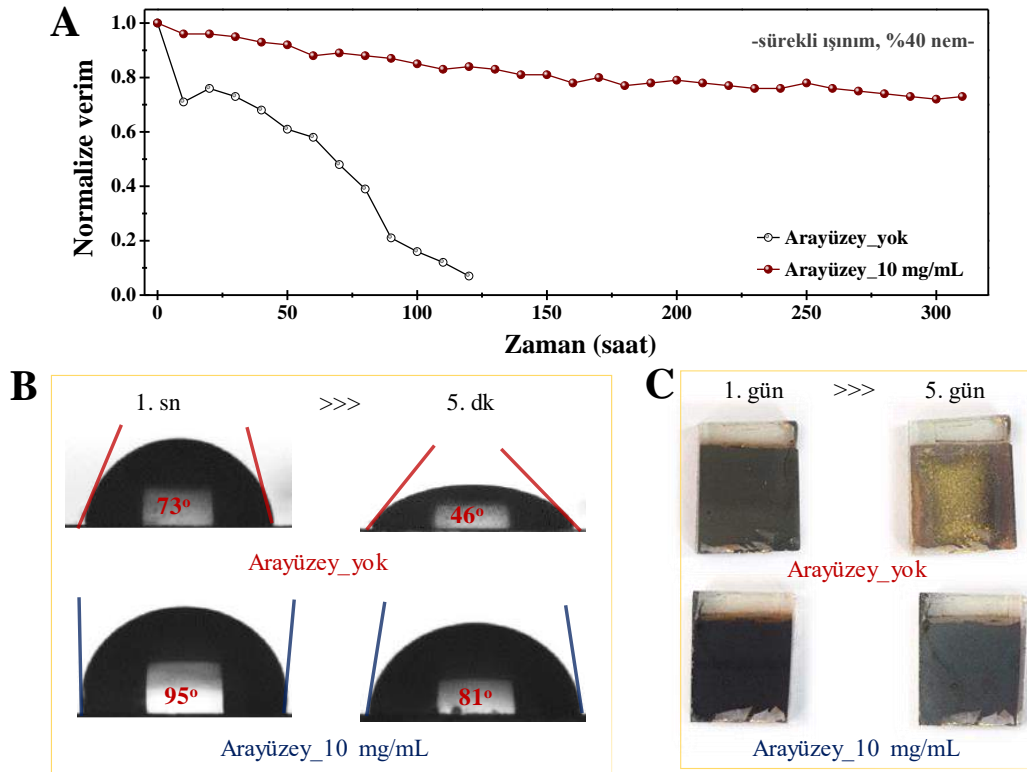
Şekil 3. (a) Arayüzey malzemesinin konsantrasyonuna bağlı olarak elde edilen ortalama hücre verimleri (b) En iyi performansa sahip kontrol hücresinin ve arayüzey içeren hücrenin J-V eğrileri (c) İlgili hücrelerin IPCE spektrumları ve integre  $J_{sc}$  değerleri (d) e-ISSN: 2148-2683

*Arayüzey içeren ve içermeyen perovskit filmlerin PL spektrumları (P: perovskit, A: arayüzey, S: spiro-OMeTAD) (e) Kontrol hücresinin ileri beslem ve geri beslem J-V eğrisi (f) Arayüzey içeren hücrenin ileri beslem ve geri beslem J-V eğrisi*

Fotovoltaik parametrelerdeki değişimi daha ayrıntılı olarak inceleyebilmek amacıyla arayüzey içeren/içermeyen perovskit filmlerin spiro-OMeTAD varlığında/yokluğunda PL analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 3d'de verilen PL analizi dikkate alındığında tüm perovskit filmlerin 790 nm civarında bir pik verdiği bunun da mevcut soğurum spektrumu ile uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Arayüzey tabakanın kullanıldığı durumda perovskit filmin kaliteli yüzey özelliklerinin bir sonucu olarak daha yüksek bir pik şiddeti bulunduğu görülmektedir. Spiro-OMeTAD tabakasının varlığında ise arayüzey içeren filmin en düşük pik şiddetini verdiği görülmektedir. Bu durum ise arayüzey boyunca meydana gelen etkin taşıyıcı ekstraksiyonuna atfedilebilir (Akin, Ulusu, ve ark., 2018; Arora ve ark., 2017). Bilindiği gibi taşıyıcı ekstraksiyonu soğurucu tabakanın yüzey özellikleri ile yakından ilgili olup; kusur içermeyen ve sıkı taneli bir perovskit yüzeyi yük ekstraksiyonunu etkin bir şekilde gerçekleştirmek için gerekli şartlardan biridir.

Perovskit güneş hücrelerinin fotovoltaik performansları ölçüm parametrelerine sıkı bir şekilde bağlı olup; elde edilen verim değerlerinin beslem yönüne (ileri beslem, geri beslem) bağlı olarak da incelenmesi sonuçların güvenilirliği açısından son derece önemlidir. Histeresis etkisi olarak tanımlanan bu durum perovskit malzemesinin yüksek iyonik iletkenliğinden dolayı iyon göçüne neden olması ve/veya farklı yük akısına sahip perovskit/yük transfer tabakaları arayüzeylerindeki yük akümüasyonu ile açıklanabilir. Mevcut çalışmada kullanılan arayüzey malzemesinin histeresis etkisini incelemek amacıyla hücrelerin ileri ve geri beslem şartlarında J-V analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 3e ve 3f'de verilen J-V eğrileri incelendiğinde, histeresis etkisi PT(thiol) arayüzey içeren hücreler için ihmal edilir bir derecede iken (~%0.6); kontrol hücresi için yaklaşık ~%2.2 verim farkına sebep olmaktadır. Bu durum PT(thiol) malzemesinin perovskit/spiro-OMeTAD arayüzey durumlarını azaltarak; arayüzeyde yük birikimine müsaade etmemesine atfedilebilir.

Perovskit hücrelerin ticarileşmesinin önündeki bir diğer engel de uzun dönem kararlılık problemi (Xiang ve ark., 2019). Bu çalışmada kullanılan arayüzey malzemesinin hücre kararlılığı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla arayüzey içeren ve içermeyen hücrelerin operasyonel kararlılık testleri gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Şekil 4a'da paylaşılmıştır. ~%40 nem içeren azot ortamında ve sürekli ışınım altında gerçekleştirilen ölçüm sonuçları incelendiğinde arayüzey tabaka kullanılan hücrenin yaklaşık 300 saat sonunda başlangıç verim değerinin %75'ini koruduğu görülürken; arayüzey kullanılmayan hücrenin yaklaşık 100 saat sonunda %80 verim kaybettiği belirlenmiştir. Arayüzey tabakanın hücre kararlılığı üzerindeki koruyucu rolünü açıklamak amacıyla su temas açısı ölçümlerinden yararlanılmıştır. Şekil 4b'de verilen su temas açısı ölçümlerinden de açık bir şekilde görüldüğü gibi arayüzey tabakanın hidrofobik doğasından dolayı su moleküllerinin perovskit tabakaya penetre olmasını geciktirdiği böylece hücre kararlılığına katkı sağladığı görülmektedir. Bu durum thiol türevi malzemelerin sahip olduğu yüksek hidrofobik motifler (HS-C<sub>6</sub>F<sub>5</sub> gibi) ile açıklanabilir (Cao ve ark., 2015). PH(thiol) tabakasının koruyucu rolü perovskit filmlerin %50 ±5 nem içeren dış ortamdaki zamana bağlı dijital görüntülerinden de açık bir şekilde görülmektedir (Şekil 4c). Ancak, spiro-OMeTAD tabakasından perovskit ve hatta TiO<sub>2</sub> tabakasına doğru ilerleyerek hücre bozunumuna neden olan sadece nem faktörü olmayıp; zamanla üst metal elektrottan altın iyonlarının ve benzer şekilde spiro-OMeTAD içindeki Li iyonlarının operasyonel koşullarda perovskit tabakasına doğru ilerleyerek hücre verimini ve kararlılığını olumsuz etkilediği de bilinmektedir. Kullanılan arayüzey malzemesinin perovskit tabaka üzerinde bir bariyer gibi davranarak iyon göçünü engelleme potansiyeli de açıktır (Javaid ve ark., 2018; Qiu ve ark., 2017; Wu ve ark., 2019). Sonuç olarak hücre veriminde gösterdiği iyileşme ve kararlılık problemlerine yaptığı önemli katkılar sebebiyle arayüzey malzemelerin perovskit hücrelerin ticari bir boyut kazanabilmesi için ivmelendirici bir rolü olduğu söylenebilir.



Şekil 4. (a) Sürekli ışınım altında gerçekleştirilen operasyonel kararlılık testleri (b) Arayüzey içeren ve içermeyen perovskit filmlerin zamana bağlı su temas açısı ölçümleri (c) Arayüzey içeren ve içermeyen perovskit filmlerin %50 ±5 nem içeren dış ortamdaki zamana bağlı dijital görüntüleri

Tablo 1. En İyi Performansı Sunan Hücelere ait Fotovoltaik Parametreler

Hücre	J <sub>sc</sub> (mA/cm <sup>2</sup> )	V <sub>oc</sub> (V)	FF	Verim (%)
Arayüzey_yok	23.4	1.03	0.75	18.1
Arayüzey_10 mg/mL	23.3	1.07	0.78	19.5

## 4. Sonuç

Bu çalışmada PT(thiol) malzemesi perovskit güneş hücre mimarisinde perovskit/spiro-OMeTAD arayüzeyinde aratabaka olarak kullanılarak hücre verimi ve kararlılığı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Arayüzey tabakasının tekli-kasyon perovskit tabaka yüzeyindeki ve tane sınırlarındaki rekombinasyon merkezlerini pasivize ederek rekombinasyon oranını düşürdüğü ve böylece hücre verimini yaklaşık %8 oranında — %18.1 değerinden %19.5 değerine — iyileştirdiği tespit edilmiştir. Ayrıca mevcut arayüzeyin hücre mimarisinde bariyer gibi davrandığı ve operasyonel şartlarda hücre kararlılığına da ciddi bir katkı sunduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak perovskit hücrelerin mevcut sorunlarının giderilmesinde arayüzey mühendisliğinin önemli katkılar sunduğu görülmüş olup; uygun özelliklere sahip arayüzey malzemelerinin perovskit hücrelerin fotovoltaik endüstrisinde söz sahibi olması yolunda önemli bir katkı sağlaması mümkündür.

## Kaynakça

- Abu Laban, W., & Etgar, L. (2013). Depleted hole conductor-free lead halide iodide heterojunction solar cells. *Energy & Environmental Science*, 6(11), 3249-3253.
- Aitola, K., Domanski, K., Correa-Baena, J. P., Sveinbjornsson, K., Saliba, M., Abate, A., . . . Boschloo, G. (2017). High temperature-stable perovskite solar cell based on low-cost carbon nanotube hole contact. *Advanced Materials*, 29(17), 1606398.
- Akin, S., Altintas, Y., Mutlugun, E., & Sonmezoglu, S. (2019). Cesium-lead based inorganic perovskite quantum-dots as interfacial layer for highly stable perovskite solar cells with exceeding 21% efficiency. *Nano Energy*, 60, 557-566.



- Akin, S., Liu, Y., Dar, M. I., Zakeeruddin, S. M., Gratzel, M., Turan, S., & Sonmezoglu, S. (2018). Hydrothermally processed CuCrO<sub>2</sub> nanoparticles as an inorganic hole transporting material for low-cost perovskite solar cells with superior stability. *Journal of Materials Chemistry A*, 6(41), 20327-20337.
- Akin, S., Ulusu, Y., Waller, H., Lakey, J. H., & Sonmezoglu, S. (2018). Insight into interface engineering at TiO<sub>2</sub>/dye through molecularly functionalized CaFl biopolymer. *Acs Sustainable Chemistry & Engineering*, 6(2), 1825-1836.
- Ameen, S., Rub, M. A., Kosa, S. A., Alamry, K. A., Akhtar, M. S., Shin, H. S., . . . Nazeeruddin, M. K. (2016). Perovskite solar cells: Influence of hole transporting materials on power conversion efficiency. *Chemsuschem*, 9(1), 10-27.
- Arora, N., Dar, M. I., Hinderhofer, A., Pellet, N., Schreiber, F., Zakeeruddin, S. M., & Gratzel, M. (2017). Perovskite solar cells with CuSCN hole extraction layers yield stabilized efficiencies greater than 20%. *Science*, 358(6364), 768-771.
- Bi, D. Q., Xu, B., Gao, P., Sun, L. C., Graetzel, M., & Hagfeldt, A. (2016). Facile synthesized organic hole transporting material for perovskite solar cell with efficiency of 19.8%. *Nano Energy*, 23, 138-144.
- Cao, J., Yin, J., Yuan, S. F., Zhao, Y., Li, J., & Zheng, N. F. (2015). Thiols as interfacial modifiers to enhance the performance and stability of perovskite solar cells. *Nanoscale*, 7(21), 9443-9447.
- Chen, J. Z., & Park, N. G. (2018). Inorganic Hole Transporting Materials for Stable and High Efficiency Perovskite Solar Cells. *Journal of Physical Chemistry C*, 122(25), 14039-14063.
- Hoque, M. N. F., Islam, N., Li, Z., Ren, G. F., Zhu, K., & Fan, Z. Y. (2016). Ionic and optical properties of methylammonium lead iodide perovskite across the tetragonal-cubic structural phase transition. *Chemsuschem*, 9(18), 2692-2698.
- Huang, L. B., Su, P. Y., Liu, J. M., Huang, J. F., Chen, Y. F., Qin, S., . . . Su, C. Y. (2018). Interface engineering of perovskite solar cells with multifunctional polymer interlayer toward improved performance and stability. *Journal of Power Sources*, 378, 483-490.
- Huang, X., Bi, W. T., Jia, P. C., Tang, Y., Lou, Z. D., Hu, Y. F., . . . Teng, F. (2019). Enhanced efficiency and light stability of planar perovskite solar cells by diethylammonium bromide induced large-grain 2D/3D hybrid film. *Organic Electronics*, 67, 101-108.
- Javid, S., Myung, C. W., Poursad, S., Rakshit, B., Kim, K. S., & Lee, G. (2018). A highly hydrophobic fluorographene-based system as an interlayer for electron transport in organic-inorganic perovskite solar cells. *Journal of Materials Chemistry A*, 6(38), 18635-18640.
- Jeon, N. J., Na, H., Jung, E. H., Yang, T. Y., Lee, Y. G., Kim, G., . . . Seo, J. (2018). A fluorene-terminated hole-transporting material for highly efficient and stable perovskite solar cells. *Nature Energy*, 3(8), 682-689.
- Kim, H.-S., Seo, J.-Y., Akin, S., Simon, E., Fleischer, M., Zakeeruddin, S. M., . . . Hagfeldt, A. (2019). Power output stabilizing feature in perovskite solar cells at operating condition: Selective contact-dependent charge recombination dynamics. *Nano Energy*, 61, 126-131.
- Lai, H., Li, X., Li, S. P., Chen, Y., Sun, B. Y., Jiang, Q. H., & Yang, J. Y. (2019). Enhancement of photovoltaic performance and moisture stability of perovskite solar cells by modification of tin phthalocyanine (SnPc). *Electrochimica Acta*, 296, 799-805.
- Ma, Y. C., Hangoma, P. M., Park, W. I., Lim, J. H., Jung, Y. K., Jeong, J. H., . . . Kim, K. H. (2019). Controlled crystal facet of MAPbI<sub>3</sub> perovskite for highly efficient and stable solar cell via nucleation modulation. *Nanoscale*, 11(1), 170-177.
- Matsui, T., Petrikyte, I., Malinauskas, T., Domanski, K., Daskeviciene, M., Steponaitis, M., . . . Saliba, M. (2016). Additive-free transparent triarylamine-based polymeric hole-transport materials for stable perovskite solar cells. *Chemsuschem*, 9(18), 2567-2571.
- Mei, A. Y., Li, X., Liu, L. F., Ku, Z. L., Liu, T. F., Rong, Y. G., . . . Han, H. W. (2014). A hole-conductor-free, fully printable mesoscopic perovskite solar cell with high stability. *Science*, 345(6194), 295-298.
- National Renewable Energy Laboratory (NREL). (2019). Retrieved from <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>
- Pazos-Outon, L. M., Xiao, T. P., & Yablonovitch, E. (2018). Fundamental efficiency limit of lead iodide perovskite solar cells. *Journal of Physical Chemistry Letters*, 9(7), 1703-1711.
- Qiu, W., Bastos, J. P., Dasgupta, S., Merckx, T., Cardinaletti, I., Jenart, M. V. C., . . . Cheyns, D. (2017). Highly efficient perovskite solar cells with crosslinked PCBM interlayers. *Journal of Materials Chemistry A*, 5(6), 2466-2472.
- Quarti, C., Mosconi, E., Ball, J. M., D'Innocenzo, V., Tao, C., Pathak, S., . . . De Angelis, F. (2016). Structural and optical properties of methylammonium lead iodide across the tetragonal to cubic phase transition: implications for perovskite solar cells. *Energy & Environmental Science*, 9(1), 155-163.
- Rong, Y. G., Liu, L. F., Mei, A. Y., Li, X., & Han, H. W. (2015). Beyond Efficiency: the Challenge of Stability in Mesoscopic Perovskite Solar Cells. *Advanced Energy Materials*, 5(20).
- Seo, J.-Y., Kim, H.-S., Akin, S., Stojanovic, M., Simon, E., Fleischer, M., . . . Grätzel, M. (2018). Novel p-dopant toward highly efficient and stable perovskite solar cells. *Energy & Environmental Science*, 11(10), 2985-2992.
- Sherkar, T. S., Momblona, C., Gil-Escrig, L., Avila, J., Sessolo, M., Bolink, H. J., & Koster, L. J. A. (2017). Recombination in perovskite solar cells: Significance of grain boundaries, interface traps, and defect ions. *Acs Energy Letters*, 2(5), 1214-1222.
- Tress, W., Yavari, M., Domanski, K., Yadav, P., Niesen, B., Baena, J. P. C., . . . Gratzel, M. (2018). Interpretation and evolution of open-circuit voltage, recombination, ideality factor and subgap defect states during reversible light-soaking and irreversible degradation of perovskite solar cells (vol 11, pg 151, 2018). *Energy & Environmental Science*, 11(3), 715-715.
- Vidal, S., Izquierdo, M., Filippone, S., Fernandez, I., Akin, S., Seo, J. Y., . . . Martin, N. (2019). Site-selective synthesis of [-70]PCBM-like fullerenes: Efficient application in perovskite solar cells. *Chemistry-A European Journal*, 25(13), 3224-3228.
- Wu, S. H., Chen, R., Zhang, S. S., Babu, B. H., Yue, Y. F., Zhu, H. M., . . . Chen, W. (2019). A chemically inert bismuth interlayer enhances long-term stability of inverted perovskite solar cells. *Nature Communications*, 10, 1161.
- Xiang, W. C., Wang, Z. W., Kubicki, D. J., Tress, W., Luo, J. S., Prochowicz, D., . . . Hagfeldt, A. (2019). Europium-doped CsPbI<sub>2</sub>Br for stable and highly efficient inorganic perovskite solar cells. *Joule*, 3(1), 205-214.
- Yang, W. S., Park, B. W., Jung, E. H., Jeon, N. J., Kim, Y. C., Lee, D. U., . . . Seok, S. I. (2017). Iodide management in formamidinium-lead-halide-based perovskite layers for efficient solar cells. *Science*, 356(6345), 1376-1379.

Zhang, J. B., Xu, B., Yang, L., Mingorance, A., Ruan, C. Q., Hua, Y., . . . Johansson, E. M. J. (2017). Incorporation of counter ions in organic molecules: New strategy in developing dopant-free hole transport materials for efficient mixed-ion perovskite solar cells. *Advanced Energy Materials*, 7(14), 1602736.



# Işğının Kök Toprağından *Bacillus atrophaeus*'un İzolasyonu ve Tanımlanması: $\alpha$ -Amilaz'ın Elde Edilmesi ve Karakterizasyonu

Barış Enez<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Veterinerlik Bölümü, Bingöl, Türkiye (ORCID:0000-00003-4730-3458)

(İlk Geliş Tarihi 1 Ekim 2019 ve Kabul Tarihi 10 Kasım 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.640484)

**ATIF/REFERENCE:** Akın, S. (2019). Işğının Kök Toprağından *Bacillus atrophaeus*'un İzolasyonu ve Tanımlanması:  $\alpha$ -Amilaz'ın Elde Edilmesi ve Karakterizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 736-743.

## Öz

Amilazlar; bitkiler, hayvanlar ve mikroorganizmalar tarafından üretilen nişastayı parçalayan enzimlerdir. Mikroorganizmalar tarafından üretilen amilazlar; eczacılık, gıda, deterjan, tekstil, kağıt ve kağıt hamuru endüstrisi gibi çok çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılabilme özelliğine sahiptir. Bununla birlikte, amilaz üreten mikroorganizmaların izolasyonunda hala kısıtlamalar vardır. Işğın bitkisi tıp başta olmak üzere birçok alanda kullanılan önemli bir bitkidir. Bu çalışmanın amacı yararlı ışğın bitkisinden bakterinin izolasyonu gerçekleştirerek biyoteknolojik öneme sahip olan amilazın elde edilmesidir. Bakteri izolasyonu dilüsyon tekniği kullanılarak yapıldı. Bitki kök kısmında bulunan toprak alınarak seyreltme işlemi gerçekleştirildi. İzolasyon sonrası morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal testler yapıldı. Mikroorganizmanın tür teşhisi için 16 S rRNA analizi gerçekleştirildi. Bakteri sekans analiz sonucunda 864 baz çiftine sahip *Bacillus atrophaeus* olduğu tespit edildi. Tanımlamada etkili olan biyokimyasal testler sonucunda bakterinin gram pozitif (+), basil ve hareketsiz olduğu belirlendi. Katalaz, hemoliz ve glikoz un pozitif (+) sonuç verdiği; oksidaz, H<sub>2</sub>S ve indol gibi biyokimyasal testlerin negatif (-) olduğu tespit edildi. Öncelikle bakteri üremesinin optimizasyonu sağlandı. Zaman, sıcaklık ve pH gibi bakteri üremesine doğrudan etki eden önemli parametreler çalışıldı. Optimum bakteri üretimi sırasıyla 72.saat, 30 °C ve pH 6.0 belirlendi. Güçlü amilaz üretimini belirlemek amacıyla nişastalı katı besi yerinde bakteriler üretildi. İnkübasyon sonrası lügol çözeltisi kullanılarak mikroorganizmanın amilaz ürettiği tespit edildi. Amilaz sentezlendiği belirlenen bakterinin optimal üretim koşulları tespit edildi. *Bacillus atrophaeus*'tan  $\alpha$ -amilaz'ın maksimum üretim koşulları 36. saat, 35 °C ve pH 6.0 olduğu görüldü. Optimum şartlarda üretilen bakterinin süpernatant kısmı kullanılarak enzim karakterizasyonu gerçekleştirildi. Enzim sıcaklık ve pH'sı sırasıyla 40 °C ve pH 6.0 da maksimum aktivite gösterdiği tespit edildi. Bu tespitler sonucunda istenilen bakteri elde edildi. Tanımlanan ve amilaz ürettiği tespit edilen bakteri, farklı biyoteknolojik alanlarda kullanılma özelliğine sahip olduğu belirlendi.

**Anahtar Kelimeler:**  $\alpha$ -Amilaz, *Bacillus atrophaeus*, Biyoteknoloji, Tanımlama

## Isolation and Identification of *Bacillus atrophaeus* from Root Soil of the Işğın: Obtaining and Characterization of $\alpha$ -Amylase

### Abstract

Amylase; enzymes that break down starch produced by plants, animals and microorganisms. Amylases produced by microorganisms; pharmaceutical, food, detergent, textile, paper and pulp industry. However, there are still limitations in the isolation of amylase-producing microorganisms. Işğın plant is an important plant used in many fields, especially in medicine The aim of this study was to isolate the bacteria from the useful plant ışğın and to obtain amylase which is of biotechnological importance. Bacterial isolation was performed using dilution technique. Soil in the root part of the plant was removed and dilution was performed. Morphological,

\* Sorumlu Yazar: Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Veterinerlik Bölümü, Bingöl, Türkiye, ORCID:0000-00003-4730-3458, [benez@bingol.edu.tr](mailto:benez@bingol.edu.tr)  
<http://dergipark.gov.tr/ejosat>

physiological and biochemical tests were performed after isolation. 16 S rRNA analysis was performed for species identification of microorganism. Bacterial sequence analysis result detected *Bacillus atrophaeus* with 864 base pairs. As a result of biochemical tests which were effective in identification, the bacteria were gram positive (+), bacillus and immobile. Catalase, hemolysis and glucose positive (+) results; Biochemical tests such as oxidase, H<sub>2</sub>S and indole were found to be negative (-). Firstly, bacterial growth was optimized. Important parameters that directly affect bacterial growth such as time, temperature and pH were studied. Optimum bacterial production was determined at 72 hours, 30 °C and pH 6.0, respectively. In order to determine strong amylase production, bacteria were produced from starch solid media. After incubation, it was determined that microorganism produced amylase by using lugol solution. The optimal production conditions of the bacteria determined to be amylase synthesized were determined. The maximum production conditions of  $\alpha$ -amylase from *Bacillus atrophaeus* were 36 hours, 35 °C and pH 6.0. Enzyme characterization was performed using the supernatant portion of the bacteria produced under optimum conditions. Enzyme temperature and pH were found to have maximum activity at 40 °C and pH 6.0, respectively. As a result of these determinations, the desired bacteria were obtained. Bacteria identified and found to produce amylase were determined to be used in different biotechnological areas.

**Keywords:**  $\alpha$ -Amylase, *Bacillus atrophaeus*, Biotechnology, Identification

## 1. Giriş

$\alpha$ -Amilaz, nişastanın rasgele hidrolizini katalize eden etkili bir enzimdir. Bu enzimler tekstil, kâğıt, yiyecek, biyoyakıt, deterjan ve ilaç endüstrisi gibi çeşitli biyoteknolojik süreçler de kullanılır (Lévêque ve ark., 2000; Ashwini ve ark., 2011; Vijayalakshmi ve ark., 2012; Sanchez ve ark., 2019). Aktif enzimlerin düşük sıcaklıklarda kullanılması yüksek bir potansiyele sahiptir çünkü bu enzimler işlem sırasında ısıtma talebini önler, böylece maliyetleri düşürürler (Feller ve Gerday, 2003).

Amilazlar çeşitli kaynaklardan elde edilebilir. Onlar tüm canlı organizmalarda bulunur, bunun yanında bu organizmalardan üretilen enzimler türlerden türlere göre aktivite, özgüllük ve gereksinimleri de değişmektedir. Ham nişastayı sindiren amilazlar; mantarlar, mayalar ve bakteriler dahil mikroorganizmalardan bitkilere ve insanlara kadar çeşitli canlı organizmalar tarafından üretilir (Haza, 2018). Mikroorganizmalar, karmaşık moleküllerin hidrolize edilmesinde kilit rol oynayan birçok endüstriyel açıdan önemli enzimlerin üretilmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Pandey ve ark., 2000; Schmidt ve ark., 2005). Mikroorganizmalardan bazı enzim üretilmesine rağmen amilaz, endüstriyel olarak üretilen ilk enzimdir. Ekstraselüler hidrolitik enzimler arasında, amilazlar, yüksek endüstriyel değerlerinden dolayı özel bir statüye sahiptir ve enzim pazarının yaklaşık % 30'unu kapsar (Sindhu ve Singh, 1997; Rao ve ark., 1998). *Bacillus* cinsinden üretilen  $\alpha$ -amilazlar endüstriyel uygulamalar açısından özel bir konuma sahiptir ve üretim süreçleri için optimizasyon parametrelerine çok önem verilmiştir (Pinjari ve Kotari, 2018). Toprak, nişasta parçalayan bakterilerin olduğu zengin kaynaklarından biridir (Sapkota ve ark., 2019).

Bu çalışmada ışın kök toprağından bakteri izole edildi. izolasyon sonrası bakteri tür teşhisi ve biyokimyasal testler yapıldı. Bakteri optimum üretim koşulları belirlemek için zaman, sıcaklık ve pH gibi önemli parametreler çalışıldı. Amilaz ürettiği tespit edilen mikroorganizmadan  $\alpha$ -amilaz karakterizasyonu gerçekleştirildi.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Bakterinin İzolasyonu ve Tanımlanması

Bu çalışmada, *Bacillus atrophaeus* Işın kök toprağından alınan örnekten izole edildi. İzolasyon için dilüsyon tekniği kullanıldı. Organizma biyokimyasal testler ve 16S rRNA dizisi ile tanımlandı. Elde edilen izolatın 16S rRNA dizi analizleri Epi-Gen Biyoteknoloji tarafından yapılmıştır. Süpernatant, amilaz aktivitesini ölçmek için kullanıldı. Spektrofotometre de bakteri üremesi 460 nm olarak ölçüldü.

### 2.2. Mikroorganizmanın Kültür ve Büyüme Şartları

Topraktan izole edilen bakteri saf su ile hazırlanmış Nutrient Agar (NA) besi yerinde 120 rpm 37 °C, pH 7.0 ve 24. saat de üretildi.

### 2.3. Bakteri Morfolojisinin Belirlenmesi ve Biyokimyasal Testlerin Uygulanması

Nutrient agar plakasında 37 ° C'de kültürlenmiş *Bacillus atrophaeus* suşu morfolojisi, bir mikroskop altında gözlendi. Gram pozitif ile Gram negatif arasında ayırım yapmak için gram boyama yapıldı. Mikroorganizmanın belirlemek için katalaz, üreaz ve hareket gibi çeşitli biyokimyasal testleri yapıldı.

### 2.4. Amilaz Aktivite Tayini

Enzim aktivitesi DNS (Dinitrosalisilik asit) yöntemine göre yapıldı. Bernfeld tarafından % 0.5 nişasta kullanılarak 37 ° C'de 30 dakika boyunca 0.1 M Tris-HCl tampon pH 7.0 içinde çözünen bir yöntem olarak uygulandı. Bir ünite amilaz aktivitesi, 37 ° C'de dakikada 1  $\mu$ mol indirgeyici uç gruplarını serbest bırakan enzim miktarı olarak tanımlandı. (Bernfeld, 1955)

### 2.5. Protein Miktar Tayini

Lowry yöntemine göre protein miktar tayini yapıldı (Lowry ve ark., 1951)

## 2.6 Mikroorganizma ve Enzim Üretimi Üzerine Sıcaklık, Zaman ve pH'nın Etkisi

Sıcaklığın bakteri ve enzim üretimi üzerindeki etkisini belirlemek için 5°C aralıklarla 25°C'den 50°C'ye yükselen sıcaklık değerleri çalışıldı. Elde edilen örnekler spektrofotometrede ölçüldü. Bakteri ve enzim üretimine, pH'nın etkisi araştırıldı. Bunun için çeşitli pH aralığında pH 4.0 ile pH 10.0 arasında deney yapıldı. İnkübasyon süresinin mikroorganizma gelişimi ve enzim üretimi üzerine etkisi için; bakteri NB'de üretildi. 12- 96. saatler arasında her 12 saatte bir örnekler alındı. Alınan örnekler spektrofotometre de ölçüldü.

## 2.7. Amilaz Aktivitesine Sıcaklık ve pH'nın Etkisi

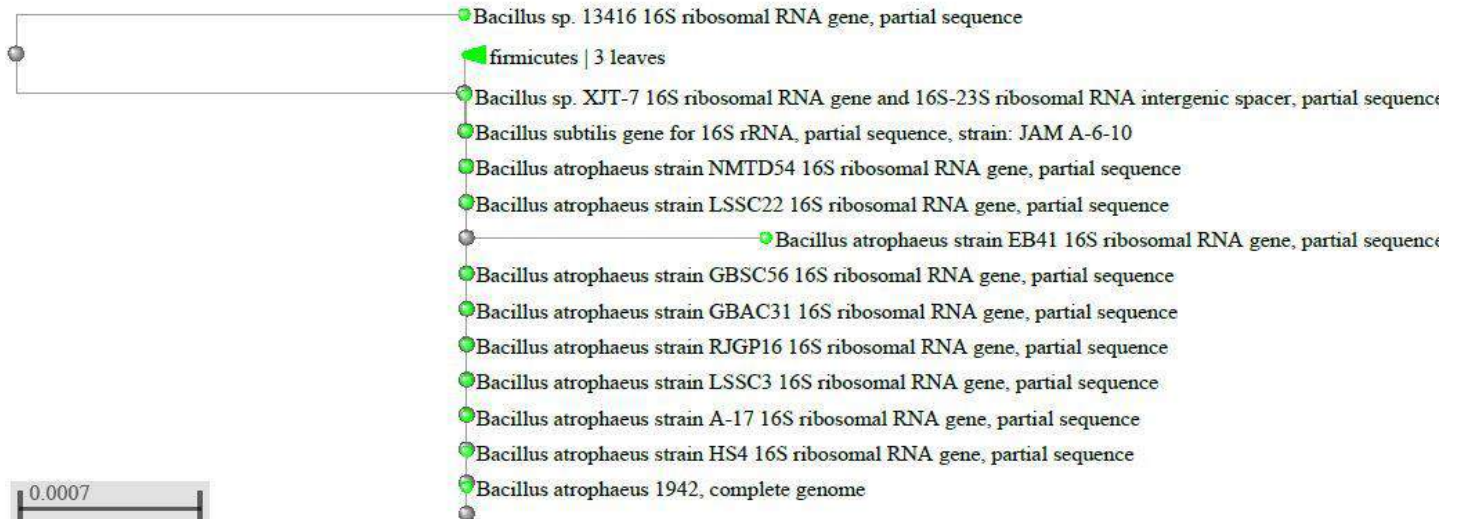
Sıcaklığın  $\alpha$ -amilaz aktivitesi üzerindeki etkisi, 30-50 °C arasındaki çeşitli sıcaklıklarda enzim deneyi yapılarak belirlendi. pH'nın  $\alpha$ -amilaz aktivitesi üzerindeki etkisi, Tris-HCl tamponu kullanılarak 4-10 arasında değişen çeşitli pH'lar da enzim deneyi yapılarak belirlendi.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Bakterinin Tanımlanması ve Biyokimyasal Testler

Dilüsyon tekniği ile tek koloni düşürülen bakterinin tanımlanması için 16 S rRNA analizi yapıldı. Analiz sonucunda bakterinin 864 baz a sahip *Bacillus atrophaeus* olduğu belirlendi. Aşağıda bakterinin dizi analizi ve filogenetik ağaç çizimi bulunmaktadır.

```
CCCCTTCGGCGGCTGGCTCATAAAGGTTACCTCACCGACTTCGGGTGTTACAACTCTCGTGGTGTGACGGGCGGTGTGTACAAGGC
CCGGGAACGTATTACCGCGGCATGCTGATCCGCGATTACTAGCGATTCCAGCTTACGCAGTCGAGTTGCAGACTGCGATCCGAAC
TGAGAACAGATTTGTGGGATTGGCTTAACCTCGCGGTCTCGCTGCCCTTTGTTCTGTCCATTGTAGCACGTGTGTAGCCCAGGTCATA
AGGGGCATGATGATTTGACGTCATCCCCACCTTCTCCGGTTTGTACCGGCAGTCACCTTAGAGTGCCCAACTGAATGCTGGCAACT
AAGATCAAGGGTTGCGCTCGTTGCGGGACTTAACCCAACATCTCACGACACGAGCTGACGACAACCATGCACCACCTGTCACTCTGC
CCCCGAAGGGGAAGCCCTATCTCTAGGGGTGTGAGAGGATGTCAAGACCTGGTAAGTTCTTCGCGTTGCTTGAATTAACCACAT
GCTCCACCGCTTGTGCGGGCCCCGTCAATTCCTTTGAGTTTCAGTCTTGCAGCCGTAACCTCCAGGCGGAGTGCTTAATGCGTTAGC
TGCAGCACTAAGGGGCGGAAACCCCTAACACTTAGCACTCATCGTTTACGGCGTGGACTACCAGGGTATCTAATCTGTTGCTCC
CACGCTTTCGCTCCTCAGCGTCAGTTACAGACCAGAGAGTCGCTTCGCCACTGGTGTTCCTCCACATCTCTACGCATTTACCGCTAC
ACGTGGAATTCCTCTCTCTCTGCACTCAAGTTCCCCAGTTTCCAATGACCCTCCCCGGTTGAGCCGGGGAG
```



Şekil 1. *Bacillus atrophaeus*'un filogenetik ağacı

Yapılan biyokimyasal testlerde bakterinin gram (+), basil hareketli oldu belirlendi. Katalaz, hemoliz ve glikoz un pozitif sonuç verdiği oksidaz, H<sub>2</sub>S ve indol gibi biyokimyasal testlerin negatif olduğu tespit edildi. Biyokimyasal testlerle ilgili tablo 1 de detaylı sonuçlar verildi.



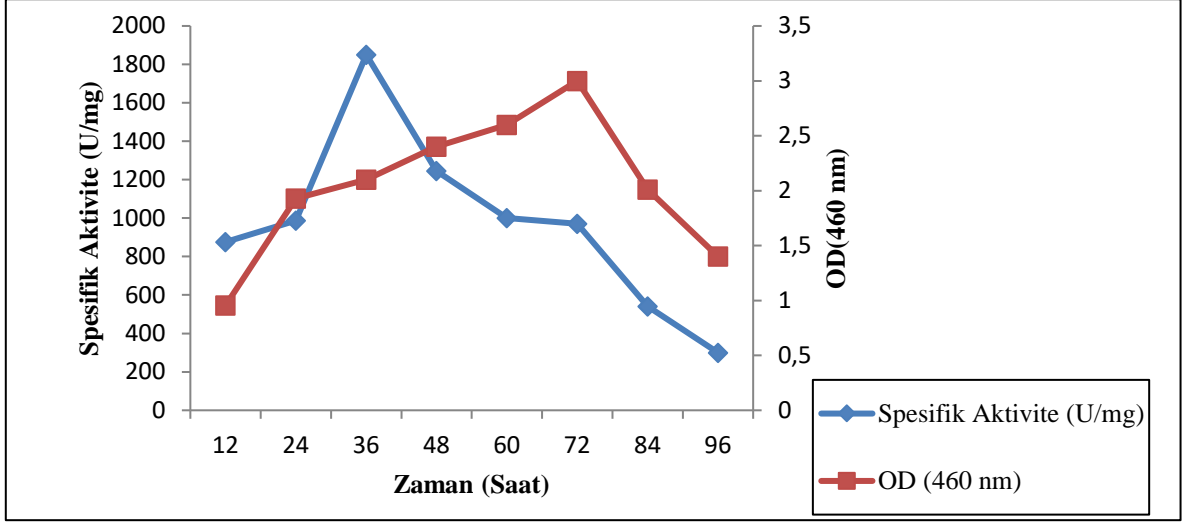
Tablo 1. Mikroorganizmanın Morfolojik ve Biyokimyasal Testleri

Karakterler	<i>Bacillus atrophaeus</i>
Aerobik Büyüme	+
Gram	+
Katalaz	+
Oksidaz	-
Glikoz	+
Laktoz	+
H <sub>2</sub> S	-
İndol	-
Hareket	-
Üreaz	-
Hemoliz	+
Amilaz	+

Pozitif:+, Negatif

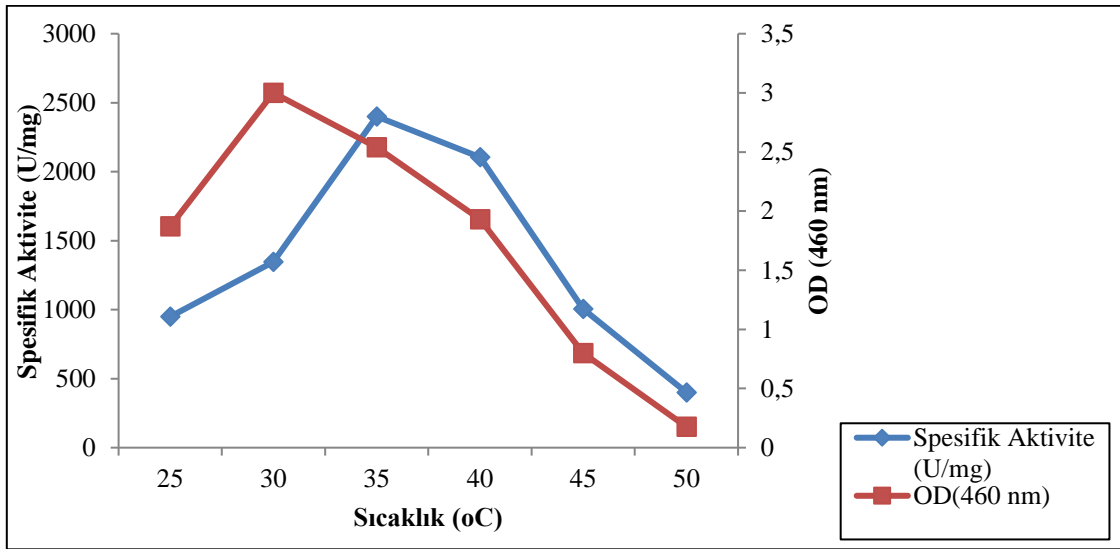
### 3.2. Mikroorganizma ve Enzim Üretimi Üzerine Sıcaklık, Zaman ve pH'nın Etkisi

İnkübasyon süresinin bakteri gelişimi ve  $\alpha$ -amilaz üretimine etkisi belirlemek amacıyla 12-96.saatler arasında örnekler alınarak ölçümler yapıldı. Bakteri gelişiminin süreye bağlı olarak arttığı en fazla üremenin ise 72. saatte olduğu belirlendi. Bu zaman diliminden sonra ise bakteri üremesinin azaldığı belirlendi. Şekil 2 de görüldüğü gibi bakteri üremesinin 72. saatte maksimum olmasına rağmen  $\alpha$ -amilaz üretiminin 36.saatte en fazla olduğu tespit edildi. Bu inkübasyon süresinden sonra amilaz üretimi azalmaktadır. Bunun nedeni, hücrelerin düşüş evresine ulaşması ve düşük  $\alpha$ -amilaz sentezi göstermesidir. Bunun yanında enzim üretimindeki azalma, fermantasyon kültüründeki besin maddelerinin tüketiminden veya toksik yan ürünlerin birikmesinden kaynaklanabilir. Fermantasyon endüstrisinde ucuz enzim üretimi için kısa inkübasyon süresinin önemli olduğu bilinmektedir.(Şekil 2)



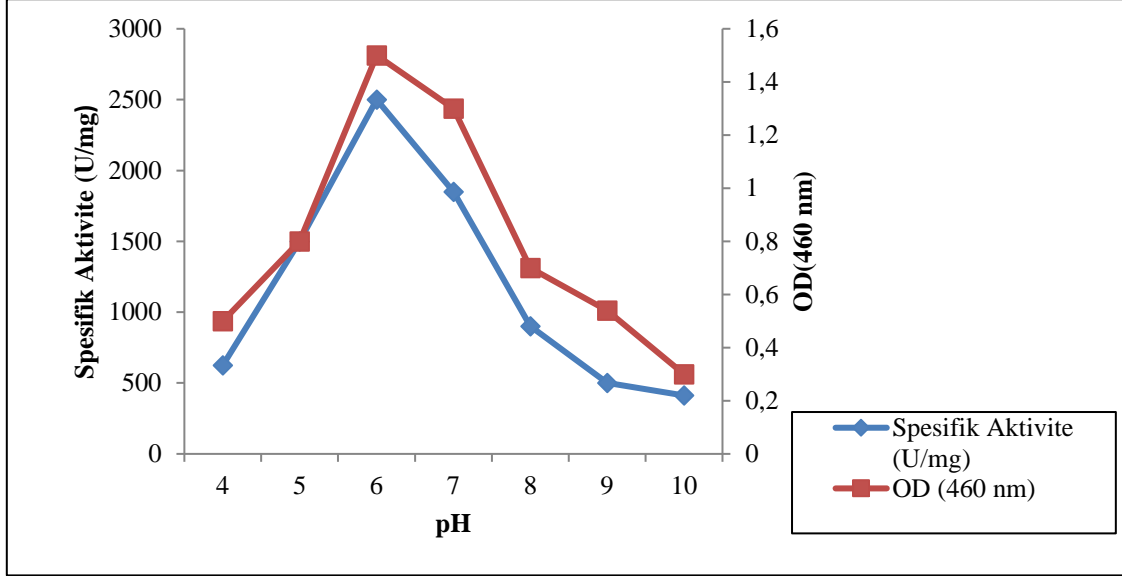
Şekil 2. inkübasyon süresinin mikroorganizma gelişimi ve enzim üretimine etkisi

Fermentasyon sıcaklığı ve pH ayrıca enzim üretimini açıkça etkileyen önemli parametrelerdir. Sıcaklığın bakteri gelişimi ve enzim üretimine etkisi belirlemek için farklı sıcaklıklarda üretim gerçekleştirildi. Bakteri üretiminin 30 °C de en fazla üreme gösterdiği artan sıcaklıklara bağlı olarak sıcaklığın azaldığı tespit edildi. 50 °C de ise üremenin nerdeyse bittiği belirlendi. Amilaz üretimine bakıldığında maksimum üretimin 35 °C de olduğu artan sıcaklığa bağlı olarak spesifik aktivitenin düştüğü gözlemlendi. (Şekil 3)



Şekil 3. Sıcaklığın bakteri gelişimi ve enzim üretimine etkisi

Mikroorganizma gelişimini ve enzim üretimini etkileyen diğer bir önemli parametre pH'dır. pH 4.0-10.0 arasında üretim gerçekleştirilerek hem 460 nm de ölçüm alındı hem de amilaz aktivite tayini yapıldı. Bakteri remesi ve enzim üretiminin pH 5.0-8.0 arasında olduğu tespit edildi. Maksimum enzim üretimi ve bakteri gelişimi pH 6.00 gerçekleştiği belirlendi. Asidik ortamda enzim üretim yapabilmesi enzim teknolojisi bakımından önemli bir yere sahiptir. (Şekil 4)



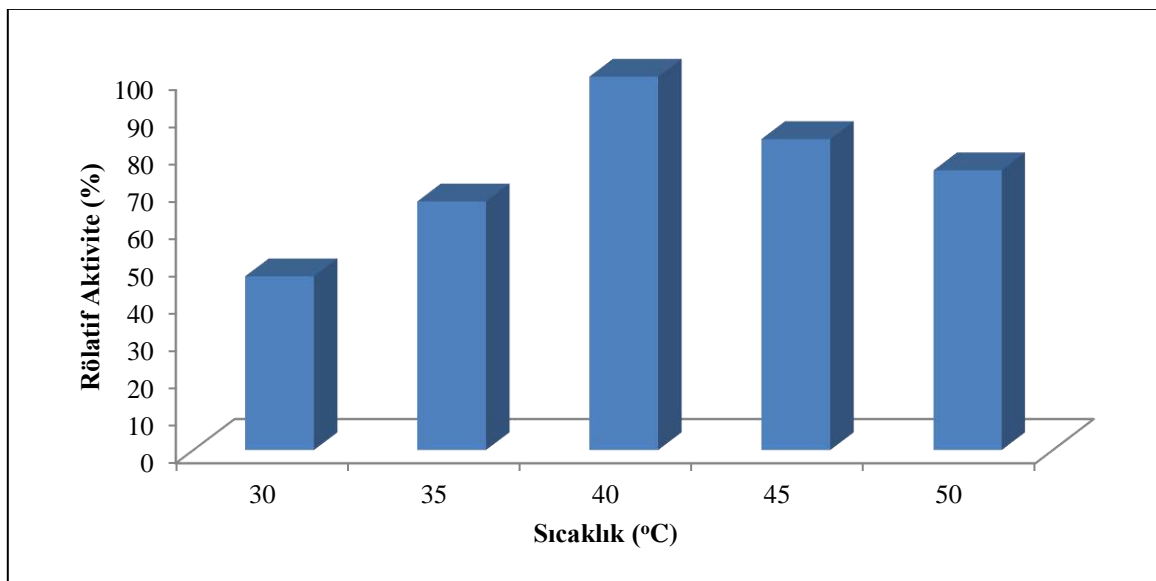
Şekil 4. pH'nın bakteri gelişimi ve enzim üretimine etkisi

Mikroorganizma gelişimi ve enzim üretim sonuçlarına göre diğer araştırmacıların çalışmalarına bakıldığında bir paralellik olduğu görüldü. Bazı parametrelerde avantajlı bir durumun ortaya çıktığı tespit edildi.

Ozdemir ve ark. (2018)'de yaptıkları çalışmada *Bacillus mojavensis* SO-10'un maksimum  $\alpha$ -amilaz üretim koşullarını 36. saat, 35 ° C ve pH 7.0'da tespit etmişlerdir. Mahdavi ve ark. (2010) *Bacillus cereus*'ta ve Demirkan, 2011 de *Bacillus subtilis* te bu enzimin pH 6.0 da optimal olarak aktif olduğunu gösterdiler. Hamilton ve ark. (1999) da *Bacillus* sp. IMD 43'ten optimum inkübasyon süresini 41. saatte ve sıcaklığı ise 40 ° C de olduğunu buldular. Asgher ve ark. (2007) yayınladıkları çalışmada *Bacillus subtilis* JS-2004'ten elde ettikleri amilazı optimum koşullarını 48.saat 50 ° C ve pH 7.0 de olduğu tespit ettiler. Behal ve ark. *Bacillus* sp. AB 04'ten amilaz üretimi gerçekleştirdiler.Enzim üretimin optimum koşullarını sırasıyla 36 saat ve 40 ° C de belirlediler. Saxena ve ark. (2007) de *Bacillus* sp. PN5'ten optimum amilaz üretimini 60 saat, 60 ° C ve pH 7.0 da tespit ettiler.

### 3.3. Amilaz Aktivitesine Sıcaklığın Etkisi

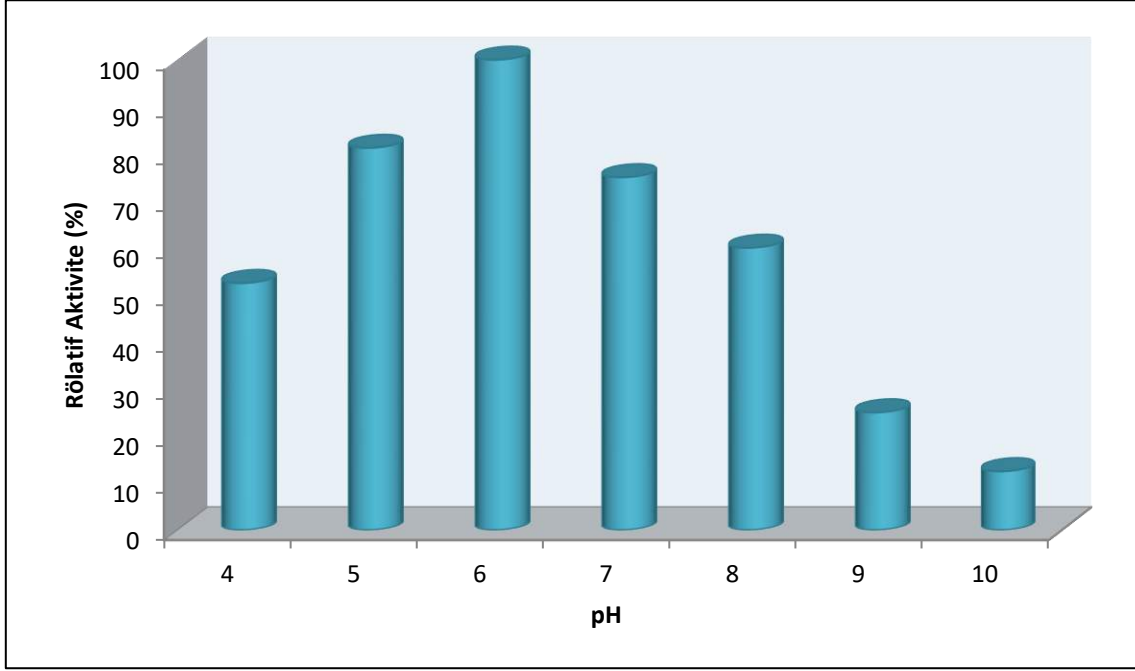
Enzim aktivitesine sıcaklığın etkisini araştırıldı. Bunu n için aktivite deneyinde inkübe sürelerinde farklı sıcaklık ortamları kullanıldı. Böylece enzimin hangi sıcaklık değerinde daha fazla aktivite gösterdiği tespit edildi. Şekil 5'te görüldüğü gibi yapılan analiz sonucunda 35-45 ° C arasında enzim aktivitesinin yüksek olduğu belirlendi. Maksimum enzim aktivitesinin 40 ° C de tespit edildi. Artan sıcaklığa bağlı olarak enzim aktivitesinin düştüğü görüldü. 50 ° C enzim aktivitesinin % 75'lere düştüğü belirlendi. Geniş bir sıcaklık aralığında aktivite göstermelerine rağmen, birçok *Bacillus* türlerinden elde edilen amilazın aktivitesi 40 ° C olarak gözlemlenmiştir (Ashwini ve ark., 2011; Vaseekaran ve ark., 2010).



Şekil 5. Sıcaklığın amilaz aktivitesine etkisi

### 3.4. Amilaz Aktivitesine pH'nın Etkisi

Optimum koşullarda üretilen bakterilerden elde edilen enzimin, pH 4.0 ile pH 10.0 arasında aktif olduğu tespit edildi. Enzim aktivitesinde artış pH 5.0'dan başlayarak gözlemlenirken, enzim aktivitesinde pH 6.0'dan sonra olduğu belirlendi. Maksimum aktivitenin pH 6.0 da olduğu tespit edildi. Enzimin asidik pH'larda çalışması enzim biyoteknolojisi açısından önemlidir. Amilaz üreten *Bacillus* suşlarının çoğu, amilaz enzim aktiviteleri için pH 6-9 aralığında optimum pH sergilemektedir. (Swain ve ark., 2006; Malhotra ve ark., 2000; Alkando ve İbrahim, 2011)



Şekil 6. Sıcaklığın amilaz aktivitesine etkisi

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada ışın kök toprağından *Bacillus atrophaeus* izolasyonu gerçekleştirildi. Bakterinin gram (+) ,basil ve hareketsiz olduğu tespit edildi. Bakterinin maksimum amilaz üretimini ni24. saate, 35 °C ve pH 6.0 da gerçekleştiği belirlendi. Bu amilazın spesifik özellikleri çeşitli endüstriyel işlemlerde kullanılmasına olanak tanımaktadır. Kısa sürede bakteri üremesi ve düşük sıcaklıkta büyüme sağlanması, kısa süre ve elektrik tasarrufu gibi endüstriyel açıdan önemli avantajdır.

#### Kaynakça

- Ahmed, A. & Alkando, H.M. I. (2011). A potential new isolate for the production of a thermostable extracellular-amylose. African Journal of Bacteriology Research, 3: 129–37.
- Asgher, M., Asad, M.J., Rahman, S.U. & Legge, R.L. (2007). A thermostable  $\alpha$ -amylose from a moderately thermophilic *Bacillus subtilis* strain for starch processing. Journal of Food Engineering, 79: 950–955.
- Ashwini, K., Gaurav, K., Karthik, L. & Bhaskara Rao, K.V. 2011. Optimization, production and partial purification of extracellular  $\alpha$ -amylose from *Bacillus* sp. Marini. Archives of Applied Science Research, 3:33–42.
- Behal, A., Sharma, M.K., Puri, P., Singh, J. & Batra, N. (2006). Characterization of alkaline  $\alpha$ -amylose from *Bacillus* sp. AB 04. International Journal of Agriculture and Biology, 8: 80–83.
- Bernfeld, P. (1955). Enzymes Carbohydrate Metabolism. In Methods In Enzymol. Acad. Press, 17: 149-158.
- Demirkan, E. (2011). Production, purification, and characterization of  $\alpha$ -amylose by *Bacillus subtilis* and its mutant derivatives. Turkish Journal of Biology, 35: 705–712.
- Feller, G. & Gerday, C. (2003). Psychrophilic enzymes: hot topics in cold adaptation. Nature Reviews Microbiology, 1: 200–208, <https://doi.org/10.1038/nrmicro773>.
- Hazaa, M.M., Sabae, S.Z., Areej Ibrahim, F. T., Eldourghamy, A.S. & Sayed, H. (2018). Production, Purification and Characterization of Alfa-amylose produced by Bacteria from Pharaonic Lake. Journal of Basic and Environmental Sciences, 5:162–173
- Lévêque, E., Janeček, Š., Haye, B. & Belarbi, A. (2000). Thermophilic archaeal amylolytic enzymes. Enzyme and Microbial Technology, 26: 3–14.
- Mahdavi, A., Sajedi, R.H., Rassa, M. & Jafarian, V. (2010). Characterization of an  $\alpha$ -amylose with broad temperature activity from an acid-neutralizing *Bacillus cereus* strain. Iranian journal of biotechnology, 8: 103–111.
- Malhotra, R., Noorwez, S.M. & Satyanarayana, T. (2000). Production and partial characterization of thermostable and calcium-independent  $\alpha$ -amylose of an extreme thermophile *Bacillus thermooleovorans* NP54. Lett Appl Microbiol, 31:378–84.

- Ozdemir, S., Aguloglu Fincan, S., Karakaya, A. & Enez, B. (2018). A Novel Raw Starch Hydrolyzing Thermostable  $\alpha$ -Amylase Produced by Newly Isolated *Bacillus mojavensis* SO-10: Purification, Characterization and Usage in Starch Industries. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 61:e18160399.
- Pandey, A., Nigam, P., Soccol, C.R., Socco, V.T., Singh, D. & Mohan, R. (2000). Advances in microbial amylases. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 31: 135–52.
- Pinjari, A. B. & Kotari, V. (2018). Characterization of extracellular amylase from *Bacillus* sp. strain RU1. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*, 6 (3): 29-34.
- Rao, M.B., Tanksale, A.M., Ghatge, M.S. & Deshpande, V.V. (1998). Molecular and biotechnological aspects of microbial proteases. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 62: 597–635.
- Sanchez, A.C., Ravanal, M. C. , Andrews, B. A. & Asenjo, J. A. (2019). Heterologous expression and biochemical characterization of a novel cold active  $\alpha$ -amylase from the Antarctic bacteria *Pseudoalteromonas* sp. 2-3. *Protein Expression and Purification*, 155: 78–85.
- Saxena, R.K., Dutt, K., Agarwal, L. & Nayyar, P.A. (2007). Highly thermostable and alkaline amylase from a *Bacillus* sp. PN5. *Bioresource Technology*, 98:260–265
- Schmidt, S., Martin, A., Schadt, C., Lipson, D., Meyer, A. & Costello, E. (2005). *Profound Seasonal Changes in Microbial Diversity and Function in an Alpine Environment*. New York: Mc-Graw Hill.
- Sindhu, M.K., Singh, B.K. & Prased, T. (1997). Changes in starch content of anhar seed due to fungal attack. *Phytopathology*, 34: 269–71.
- Susmita, S., S, K., Aava, G., Rojina, M., Ruby, S., Sandhya, D., Om Prakash, P., Santosh, K., Pramod, P. (2019). Screening and Optimization of Thermo-Tolerant *Bacillus* sp. for Amylase Production and Antifungal Activity. *Journal of Institute of Science and Technology*, 24(1): 47–56.
- Swain, M.R., Kar, S., Padmaja, G. & Ray, R.C. (2006). Partial characterization and optimization of production of extracellular alpha-amylase from *Bacillus subtilis* isolated from culturable cow dung microflora. *Polish Journal of Microbiology*, 55: 289–96.
- Vaseekaran, S., Balakumar, S. & Arasaratnam, V. (2010). Isolation and identification of a bacterial strain producing thermostable  $\alpha$ -amylase. *Tropical Agricultural Research*, 22:1–11.
- Vijayalakshmi, K., Sushma, S.A. & Chander, P. (2012). Isolation and characterization of *Bacillus subtilis* KC3 for amylolytic activity. *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*, 2: 336.





# Examination of the Measurement Methods Used to Determine the Silage Density in Small Farm

Mustafa Şahin<sup>1</sup>, Fulya Tan<sup>\*2</sup>

<sup>1</sup> Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup> Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0037-4251)

(İlk Geliş Tarihi 30 Eylül 2019 ve Kabul Tarihi 13 Kasım 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.625909)

**ATIF/REFERENCE:** Şahin, M. & Tan, F. (2019). Examination of the Measurement Methods Used to Determine the Silage Density in Small Farm. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 744-749.

## Abstract

The aim of this study was to determine the density of the compacted material in pile-type silo under field conditions and to compare different measurement methods. Three different methods (core sampling-M2,M3,M4,M5; penetrometer-M6 and control method-M1) were used for density measurement. The density measurements of the corn silage were made during the ensiling (stage-I) and at the feeding (stage-II). The results showed that different results were obtained in density measurement methods both stages. In all methods, measurements taken from 0.40 m-layer thickness were always denser than at the measurement taken from 1.20 m-layer thickness by 21.75% in stage-I, 32.96% in stage-II. Linear regression models were determined between the methods and the M6 method both stages. Methods were statically significant. M4 from the core sampling method and M6 are recommended because they are practical for small farms in field conditions.

**Anahtar Keywords:** Density, Penetrometer, Corn, Silage, Pile-type silo, Density measurement.

## Küçük İşletmelerde Silaj Yoğunluğunu Belirlemek Amacıyla Kullanılan Ölçüm Metotlarının İncelenmesi

### Öz

Bu çalışmanın amacı saha koşullarında yığın tip silaj yapımında sıkıştırılan materyalin yoğunluğunu belirlemek ve farklı ölçüm metotlarını karşılaştırmaktır. Yoğunluk ölçümleri için üç farklı ölçüm yöntemi ( Örnekleme M2, M3, M4,M5; penetrometre-M6; ve kontrol yöntemi) kullanılmıştır. Mısır silajında yoğunluk ölçümleri silolama sırasında (Aşama-I) ve yemleme sırasında (Aşama-II) yapılmıştır. Sonuçlar her iki aşamada da farklı yoğunluk değerleri göstermiştir. Bütün metotlarda 0.40 m den alınan ölçümler, 1.20 m kalınlığında alınan örneklere göre; aşama-I de % 21.75, aşama-II' de ise % 32.96 daha fazla yoğunluk değerine sahip olduğu saptanmıştır. Her iki aşamada da M6 yöntemi i ile diğer yöntemler arasında lineer olarak bir regrasyon modeli belirlenmiştir. Yöntemler istatistiki açıdan önemli bulunmuştur. Çalışma sonuçlarına göre; örnekleme metotlarından M4 ve penetrometre ölçüm yöntemi olan-M6 tarla koşullarında ufak işletmeler için pratik ölçüm tekniği olmaları nedeniyle önerilen yöntemler olmuştur.

**Kelimeler:** Yoğunluk, Penetrometre, Mısır, Yığın silo, Yoğunluk ölçüm.

\* Sorumlu Yazar: Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Namık Kemal University, Tekirdağ, 59030,Turkey, ORCID: 0000-0002-0037-4251, [ftan@nku.edu.tr](mailto:ftan@nku.edu.tr)

## 1. Introduction

The density of the silage is the most important factor affected the quality of silage. For good quality silage, it is desirable to have a high density. But, the density of silage is highly variable, especially in pile-type silos (Roy et al. 2001). Heterogeneous density in the silo is a major problem in terms of silage quality (Latsch 2014). There are many factors that affect the silage density. These are the weight of the compression equipment used (Muck and Holmes 2000, Ruppel et al. 1995), pressure (Savoie et al. 2004, Tan et al. 2018), the layer thickness, number of layers, silage height (D'Amours and Savoie 2005), the compression time (Roy et al. 2001, Ruppel 1993), and the operator experience (Tan et al. 2018). Other factors such as tire pressure, crop and particle size were not correlated with density (Holmes and Muck 2000). Ruppel et al. (1995) and Holmes (2008) indicated a linear relationship between density and DM loss. Pitt and Muck (1993) also reported DM loss was reduced as silage density increased.

Different methods can be used to calculate the density. Norell et al. (2013) compared three methods (Core sampling, calculator and feed-out methods) for estimating silage density on different farms. They have proposed the core sampling and calculator method for estimating storage dry matter losses and evaluating alternative ensiling management practices. Hoffmann and Geyer (2014) used radiometric method to determine the density of the ensiled material during the compaction drives. They have reported that this method is cost-effective if the number of dairy cows exceeds 135 cows, not for small livestock enterprises. Latsch and Sauter (2013) reported good results with drilling cylinder to underestimate density in grass silage. High penetration resistance ( $Ncm^{-2}$ ) is considered as a high compression and high density (Medvedev 2009). Roy et al. (2001) stated that small farms the higher silage density in small farms is very difficult as they do not have access to heavy compaction vehicles. Penetrometer method was used by Sun et al (2009) to determine the bale density. Li et al. (2016) developed that a penetrometer-based mapping system for visualizing silage density. They have reported that this system may be beneficial to estimate the risk of aerobic degradation potential in silos.

This study was initiated to compare different measurement methods for determining the density of silage in pile-type silo for small farms and to determine the relationship between the methods used.

## 2. Material and Method

### 2.1. Experimental Design

The main parameters recorded during this study are given in Table 1. The second crop of maize was harvested and the chopped material was ensiled in the pile-type silo.

Table 1. The Main Parameters

Corn type	Pioneer ® P2948W
Harvest date (Ensiling date)	November 2, 2017
Measurement date of the stage-I	November 2, 2017
Measurement date of the stage-II	Feb. 14, March 10, April 2, 2018
Dry matter content (%) Stage-I	32
Stage-II	28, 27, 26.3
Mean chop length (mm)	12
Tractor type	John Deere 6230
Tractor mass (t)	4.6
Front tire size	380/85R24
Rear tire size	420/85R38
Tire pressure front/rear (bar)	2/2.3
Layer thickness (m) I-II-III	0.40-0.80-1.20
Silo size (m)	12x4.5x1.6

Trials were performed in two stages; stage-I; during the ensiling period, stage-II, during the feeding period. The measurements at the stage-II, were performed on three different days depending on the opening day of the silo. The first measurement was carried out in the front region of the silo, the second measurement in the middle region of the silo and the third measurement in the rear region of the silo. A single tractor was used to compact the silage material. Dry matter contents of the samples were determined according to standard method S358.2 (ASAE 2002).

### 2.2. Density Measurement

Density measurements were made at three height levels of the silo both at the ensiling stage (stage-I) and at the feeding stage (stage-II). In silo, were identified 27 measurement points to measure density of silage. These points were shown in Figure 1. There are 9 measuring points in each layer of the silo. Measurements were made at a similar point for each method. Density measurements in the stage-I were completed during the filling period in all measurement points. In Stage II, the densities were measured and calculated

on three different days depending on the opening day. At stage II, measurements on first measurement day (Feb. 14): A1....A9 in the measurement points; on the second day (March 10): B1.....B9 in the measurement points; on the third day (April 2,2018): C1..... C9 in the measurement points were done.

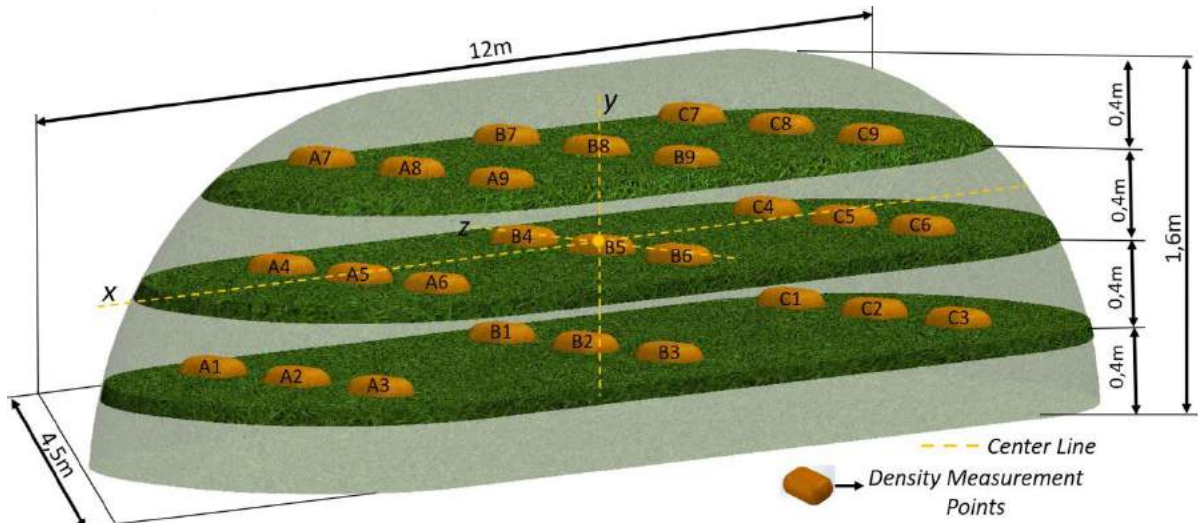


Figure 1. The Density Measurement Points in Pile-Type Silo

Three different methods (control method-M1; core sampling-M2,M3,M4,M5 and penetrometer-M6) were used to measure the density of corn silage in pile-type silo. The density of the samples taken in the control method were measured under laboratory conditions (Cai et al. 1997). The core sampling is the standard method (Norell et al. 2013). Samples were taken by four different core samplers from pre-determined measurement points of the silo in core sampling method (Table 2). The volume of the samples taken in core sampling was determined by four different core samplers. In the method M2, the cylinder used to take samples has a narrower diameter while M3 has a wider diameter. In Method M4, the sampler with square cross-section used to take samples has a smaller volume and M5 has a larger volume.

Table 2. Properties of The Core Samplers

	M2	M3	M4	M5
Type	cube	cube	cylinder	cylinder
Diameter	narrow	wide	narrow	wide
Volume (m <sup>3</sup> )	0.008	0.016	0.0078	0.016

In M6 method, penetrometer (Ejkelkamp) was used for density measurements (Fig. 2). Technical specifications of the penetrometer were given in Table 3. The hardness indicating the level of compaction of the material was measured as kg m<sup>-2</sup> by penetrometer. M6 method has a practical use. Therefore, according to other methods, its usability for density estimation will also be examined.

Table 3. Technical Specifications of The Penetrometer

Technical specifications	
Operational temperature	0-50 °C
Operational humidity	Water-resistant
Max. penetration force	1000 N
Total length measuring rod	0.97 m
Memory	1500 measurements



Figure 2. Ejkelkamp Penetrometer

The mass and volume of the silage were measured for calculating the density of each sample. The density of silage material is calculated by equation (1).

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

Where,  $\rho$  is ensiling material density,  $\text{kg m}^{-3}$ ;  $m$  is mass of the ensiling material filling, kg;  $v$  is volume,  $\text{m}^3$  (Wang 2012). The density of the material both stage-I and stage-II in a small livestock farm was calculated.

### 2.3. Statistical Analysis

In this study, to evaluate any statistical significance between measurement method and density in pile silo, the data was analyzed by using the one-way ANOVA employing SPSS (version 18.0). Minimum level of significance was 5%. Means were compared by the Duncan test. While M1, M2, M3 and M4 methods were tested among themselves, M6 was tested in itself. The relationship between the methods was analyzed by using a linear regression model.

## 3. Results and Discussion

Table 4 and Table 5 indicates the density values of the whole-chopped corn measured during the stage-I and stage-II according to the methods. There were a significant effect ( $P < 0.05$ ) of layer thickness and locations on density at all methods both stage. Significant differences were observed for both layer thickness (vertical) and locations (horizontal) layers. The highest density values were determined at 120 cm layer thickness while the lowest density values were determined at 40 cm layer thickness in all methods. Muck and Holmes (2000) also found a negative correlation between layer thickness and density. The highest densities were M1, M4, M5, M2 and M3 respectively.

Table 4. Density Values of The Whole-Chopped Corn Measured During The Stage-I

	M1	M2	M3	M4	M5	Mean	M6
LT	$\text{kg m}^{-3}$						$\text{kg m}^{-2}$
120	871.75	852.25	810.27	867.01	862.22	852.70 <sup>A</sup>	5.02 <sup>a</sup>
80	818.42	723.75	628.96	808.58	781.80	752.30 <sup>B</sup>	4.02 <sup>b</sup>
40	766.41	566.55	518.89	764.40	720.05	667.26 <sup>C</sup>	3.72 <sup>c</sup>
Location							
Right	795.37	684.89	625.83	794.83	763.00	732.78 <sup>C</sup>	4.23 <sup>b</sup>
Center	821.70	721.33	659.09	819.82	794.87	763.36 <sup>B</sup>	4.23 <sup>b</sup>
Left	839.51	736.32	673.21	825.34	806.20	776.12 <sup>A</sup>	4.30 <sup>a</sup>
Mean	818.86 <sup>a</sup>	714.18 <sup>c</sup>	652.71 <sup>d</sup>	813.33 <sup>a</sup>	788.02 <sup>b</sup>		4.25

AB Mean with different superscript within a column differ for M1,M2,M3,M4 and M5at  $p < 0.05$ .

a,b Mean with different superscript within a column differ for M6at  $p < 0.05$ .

LT, Layer thickness; M1, control method; M2, core sampling method with narrow volume cube; M3, core sampling method with wide volume cube; M4, core sampling method with narrow volume cylinder; M5, core sampling method with wide volume cylinder; M6, penetrometer method.

Table 5. Density Values of The Whole-Chopped Corn Measured During The Stage-II

	M1	M2	M3	M4	M5	Mean	M6
LT	$\text{kg m}^{-3}$						$\text{kg m}^{-2}$
120	598.25	510.75	488.58	529.41	498.32	525.06 <sup>A</sup>	4.45 <sup>a</sup>
80	532.12	432.37	322.52	450.32	418.99	431.26 <sup>B</sup>	3.66 <sup>b</sup>
40	496.63	341.55	207.63	373.24	314.56	346.72 <sup>C</sup>	3.00 <sup>c</sup>
Location							
Right	520.99	404.30	321.41	433.93	398.73	415.87 <sup>C</sup>	3.66 <sup>b</sup>
Center	550.81	435.68	345.77	455.33	416.05	440.73 <sup>B</sup>	3.72 <sup>a</sup>
Left	555.19	444.68	351.56	463.70	417.11	446.45 <sup>A</sup>	3.73 <sup>a</sup>
Mean	542.33 <sup>a</sup>	428.22 <sup>c</sup>	339.58 <sup>e</sup>	450.99 <sup>b</sup>	410.63 <sup>d</sup>		3.70

AB Mean with different superscript within a column differ for M1,M2,M3,M4 and M5at  $p < 0.05$ .

a,b Mean with different superscript within a column differ for M6at  $p < 0.05$ .

LT, Layer thickness; M1, control method; M2, core sampling method with narrow volume cube; M3, core sampling method with wide volume cube; M4, core sampling method with narrow volume cylinder; M5, core sampling method with wide volume cylinder; M6, penetrometer method.

The lowest density was measured in M3 method. In the present study, density of silage in stage-I ranged from 652.71  $\text{kg m}^{-3}$  to 818.86  $\text{kg m}^{-3}$ , which were lower than the values found by Li et al. (2016). This can be explained by the less compaction during

ensiling. In M4 method, the closest values to M1 method were obtained both stages. The density of silage at 40 cm layer thickness was 11.31 %, 21.75 % lower than at the 80 cm and 120 cm layer thickness, respectively. The highest density values were determined at left location (776.12 kg m<sup>-3</sup>) in all methods while the lowest density values were determined at right location (732.78 kg m<sup>-3</sup>). The density of silage at left location was 5.59 %, 1.65 % higher than the right and center location, respectively.

In the present study, density of silage in stage-II ranged from 339.58 kg m<sup>-3</sup> to 542.33 kg m<sup>-3</sup>. The highest densities in stage-II were M1, M4, M2, M5 and M3, respectively. The density of silage at 40 cm layer thickness was 17.86 %, 33.96 % lower than at the 80 cm and 120 cm layer thickness, respectively. According to locations, all methods except Method 6 were found to be in a statistically different group. The highest density values were observed at left location (446.45 kg m<sup>-3</sup>) in all methods while the lowest density values were determined at right location (415.87 kg m<sup>-3</sup>). The mean density of silage at left location was 6.85 %, 1.28 % higher than the right and center location, respectively. In M6, similar values were measured in the right and center locations and at left location was 1.63% higher than right and center locations.

Our results showed that mean density of 120 cm layer thickness (bottom layer) was higher than 80 cm and 40 cm layer thicknesses in all methods including the M6. The values were found higher than the value (434 kg m<sup>-3</sup>) mentioned by Muck and Holmes (2000). The highest density were 818.86 kg m<sup>-3</sup> and 542.33 kg m<sup>-3</sup> in the M1 method both stages. The density of silage in the M4 was 0.68 %, 16.84% lower than the M1 at stage-I and II, respectively. The densities in our study were within the range found for pile-type silos. Regression models according to the methods were shown in Table 6. The correlations and standard deviation values between methods were shown in Table 7. According to the results, the correlation between density measured and methods was significant (P<0.01).

Table 6. Linear Regression Models According to The Methods

Methods	Stage-I	R <sup>2</sup>	Stage-II	R <sup>2</sup>
M1	y = 498.257 + 75.339 (M6)	0.713	y = 278.990 + 71.031 (M6)	0.863
M2	y = -125.559 + 197.329 (M6)	0.851	y = -4.844 + 116.812 (M6)	0.941
M3	y = -258.061 + 214.020 (M6)	0.953	y = -377.813 + 193.503 (M6)	0.985
M4	y = 496.593 + 74.430 (M6)	0.863	y = 51.076 + 107.870 (M6)	0.966
M5	y = 349.786 + 102.981 (M6)	0.876	y = -54.746 + 125.526 (M6)	0.968

M1, control method; M2, core sampling method with narrow volume cube; M3, core sampling method with wide volume cube; M4, core sampling method with narrow volume cylinder; M5, core sampling method with wide volume cylinder; M6, penetrometer method.

The relationship between M6 method and other methods was investigated. In both stages, the linear relationship between the methods was highest. In all methods, R<sup>2</sup> determination coefficient was higher in the stage-II than in the stage-I. The highest coefficient (R<sup>2</sup>) between M6 method and other methods was found in M3 method (R<sup>2</sup>=0.953 and R<sup>2</sup>=0.985) at stage-I and II, respectively. According to the control method; the lowest density was determined by M3 method. With the M6 method it is possible to determine a density value that is 20% lower than the control method. Instead of core sampling method, the penetrometer could be used for measuring when density needs to be calculated for small farm.

Table 7. Correlations Between Methods

Methods	M1	M2	M3	M4	M5	M6	Std.Dv.
<b>Stage-I</b>							
M1	1	0.908**	0.906**	0.924**	0.933**	0.844**	50.67
M2	0.908**	1	0.978**	0.974**	0.979**	0.923**	121.46
M3	0.906**	0.978**	1	0.977**	0.984**	0.976**	124.50
M4	0.924**	0.974**	0.977**	1	0.990**	0.929**	45.51
M5	0.933**	0.979**	0.984**	0.990**	1	0.936**	62.49
M6	0.844**	0.923**	0.976**	0.929**	0.936	1	0.57
<b>Stage-II</b>							
M1	1	0.959**	0.955**	0.965**	0.932**	0.929**	46.52
M2	0.959**	1	0.973**	0.993**	0.983**	0.970**	73.26
M3	0.955**	0.973**	1	0.984**	0.980**	0.992**	118.61
M4	0.955**	0.993**	0.984**	1	0.983**	0.983**	66.75
M5	0.932**	0.983**	0.980**	0.983**	1	0.984**	77.62
M6	0.929**	0.970**	0.992**	0.983**	0.984	1	0.61

\*\*significant at P<0.01 (2-tailed).

M1, control method; M2, core sampling method with narrow volume cube; M3, core sampling method with wide volume cube; M4, core sampling method with narrow volume cylinder; M5, core sampling method with wide volume cylinder; M6, penetrometer method.



Densities were positively correlated with the measurement methods. All methods in the stage-II had a higher correlations and lower standard deviation compared to the stage-I. This can largely be explained by the absence of spaces between the materials. The highest correlations with control was found at M5 and at M4 in stage-I, at M4 in stage-II. According to the results of this study, M4 method is recommended to determine the density at the small farms. Among the core sampling methods, M4 was the most practical and easiest method to measure density under field conditions. Core sampling method is also recommended for assessing silage density by Holmes (2008).

## 4. Conclusion

Results indicate that in order to determine the silage density in small farms, all methods tested in this study can be used for density measurement including penetrometer method. Penetrometer method (M6) is the best method for fast and accurate measuring of density. If small farms do not have a penetrometer, M4 sampling method may be recommended for density measurement.

## 5. Acknowledgment

This study; It was produced from a MSc. thesis by Mustafa ŞAHİN at the Institute of Natural and Applied Sciences, Tekirdag Namık Kemal University.

## References

- ASAE Standarts. 2002. Moisture measurement -forages. ASAE S358.2. Standards 2002: 565. St. Joseph, MI.
- Cai J, Huang Z.Z, Lu S.C. 1997. Differential regulation of gamma-glutamylcysteine synthetase heavy and light subunit gene expression. *Biochemical Journal*. 3326,167-172.
- D'Amours L and Savoie P. 2005. Density profile of corn silage in bunker silos. *Canadian Biosystems Engineering*. Vol:17;2.21-2.28.
- Hoffmann T , Geyer S (2014). Determination of Silage Density in Bunker Silos Using a Radiometric Method. *Agronomy Research* 12 (1):65-72.
- Holmes B.J. 2008. Determining silage density. World Dairy Expo, Univ. of Wisconsin Madison, ([www.uwex.edu](http://www.uwex.edu))
- Latsch R. and Sauter J. 2013. Comparison of methods for determining the density of grass silage. *Agricultural and Food Science*. 22: 189-193.
- Latsch R. 2014. Grass silage compaction in horizontal silos. *International Conference of Agricultural Engineering*. AnEng 2014. 6-10 July. Zurich.
- Li M, Kerstin H.J, Sun Y, Cheng Q, Maack C, Buescher W, Lin J, Zhou H and Wang Z. 2016. Developing a Penetrometer-Based Mapping System for Visualizing Silage Bulk Density from the Bunker Silo Face. *Sensors*. 2016 Jul; 16(7): 1038.
- Medvedev V.V, 2009. Soil penetration resistance and penetrographs in studies of tillage technologies. *Euroasian Soil Science*. March 2009. (42):3,299-309.
- Muck R E and Holmes B J. 2000. Factors Affecting Bunker Silo Densities. *Applied Engineering in Agriculture*. Vol.16(6):613-619.
- Muck R.E, Savoie P, Holmes B.J. 2004. Laboratory Assessment of Bunker Silo Density, Part I: Alfalfa and Grass. *Applied Engineering in Agriculture* 20(2): 157-164.
- Norell R.J , Hines S, Chahine M, Fife T , Marti M.D.H, Parkinson S.C. 2013. Comparing Three Different Methods For Assessing Corn Silage Density. *Journal of Extension*. 51 (5).
- Pitt, R. E. and R. E. Muck. 1993. A diffusion model of aerobic deterioration at the exposed face of bunker silos. *J. Agricultural Engineering Research*. 55 (11-26)
- Roy MB. Treblay Y. Pomerleau P. Savoie P. 2001. Compaction and Density of Forage in Bunker Silos. *ASAE Annual International Meeting*. Paper No:01-1089.
- Ruppel K.A. 1993. Bunker Silo Management and Its Effects On Haycrop Quality. In *Proceedings From The National Silage Production Conference*: 67-82. NRAES Publication, 67, Cooperative Extension, Ithaca, NY
- Ruppel K.A, Pitt R.E, Chase L.E, Galton D.M. 1995. Bunker Silo Management and Its Relationship to Forage Preservation on Dairy Farms. *Journal of Dairy Science*. 78:141-153.
- Savoie P. Muck R E and Holmes B J. 2004. Laboratory Assessment of Bunker Silo Density. Part II: Whole-Plant Corn. *Applied Engineering In Agriculture*. 20(2):165-171.
- Sun Y.R., Buescher W., Lin J.H., Schulze Lammers P., Ross F., Maack C., Cheng Q., Sun W. 2009. An improved penetrometer technique for determining bale density. *Biosyst. Eng*. 2010;105:273–277. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2009.09.020.
- Tan F, Kayisoglu B, Okur E. 2018. Effects of Compaction Pressure on The Temperature Distribution in Bunker Type Silage Silo. *Indian Journal of Animal Sciences* 88 (1): 116–120.
- Wang R. 2012. Estimation of Silage Density in Bunker Silos By Drilling. *Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Animal Nutrition and Management*, 396. Master Thesis.



# Effect of Calcination Temperature on the Perovskite Characteristics Prepared by Modified Pechini Method

Rahmiye Zerrin Yarbay Şahin<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup> Bilecik Seyh Edebali University Faculty of Engineering Chemical Engineering Department, Bilecik, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4926-044X)

<sup>2</sup> Bilecik Şeyh Edebali University Biotechnology Application and Research Centre, Bilecik, Turkey.

(İlk Geliş Tarihi 2 Ekim 2019 ve Kabul Tarihi 13 Kasım 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.628531)

**ATIF/REFERENCE:** Yarbay Şahin, R. Z. (2019). Effect of Calcination Temperature on the Perovskite Characteristics Prepared by Modified Pechini Method. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 750-754.

## Abstract

Perovskite type oxides which have the general formula as  $ABO_3$  including both rare earth elements and 3d transition metals is gaining interest according to be utilized as such strategic materials because of their excellent catalytic, magnetic, electrical and optical properties. Along with perovskitic materials, lanthanum nickel oxide ( $LaNiO_3$ -LNO) shows potential as a consequence of its electronic and catalytic properties in not only reactions like reforming, redox reactions but also in storage and conversion of energy or synthesis an electrode material. LNOs are widely prepared by methods like sol-gel, co-precipitation, solid state and Pechini. Among these methods, the Pechini method practices the metal salts consisting of nitrates, acetates, etc. as precursors and citric acid (CA) as a chelating agent of metal ions and ethylene glycol (EG) utilized like a cross-linking agent to arrange a polymeric resin based on molecular level and declines metal ions segregation and confirms compositional homogeneity. This process can defeat most of the difficulties and disadvantages that frequently occur in the alkoxides related to sol-gel method. The study attempts to scan the influence of calcination temperature on the physical properties of  $LaNiO_3$  catalysts prepared by modified Pechini method without ethylene glycol. In order to lay out the physical properties, X-ray diffraction (XRD), scanning energy microscopy (SEM), and  $N_2$  adsorption/desorption techniques were used. The change with the temperature in the structure caused a decline in specific surface area, pore volume and rise in pore size. XRD results showed that LNO calcinated at  $700^\circ C$  favored the establishment of an almost homogeneous  $LaNiO_3$  phase rather than calcination at  $500^\circ C$ . The study underlined that the preparation of the LNO by the modified Pechini method can be applied successfully with the temperature above  $700^\circ C$  without EG as a cross-linking agent.

**Keywords:** Perovskite, Calcination Temperature,  $LaNiO_3$ , Modified Pechini method.

## Kalsinasyon Sıcaklığının Modifiye Edilmiş Pechini Yöntemi ile Hazırlanan Perovskit Özelliklerine Etkisi

### Öz

Hem nadir toprak elementlerini hem de 3d geçiş metalleri içeren  $ABO_3$  genel formülüne sahip olan Perovskit tipi oksitler, mükemmel katalitik, manyetik, elektrik ve optik özelliklerinden kaynaklanan stratejik malzemeler olarak kullanılmalarından dolayı oldukça dikkat çekmektedir. Perovskitik malzemeler arasında lantan nikel oksit ( $LaNiO_3$ -LNO), yalnızca reform ve redoks gibi reaksiyonlarda değil, aynı zamanda da enerji dönüşümü veya elektrot malzeme sentezinde önemli bir potansiyele sahiptir. LNO'lar yaygın olarak sol-gel, birlikte çöktürme, katı hal ve Pechini gibi yöntemlerle hazırlanır. Bu metotlar arasında Pechini yönteminde öncü maddeler olarak yaygın olarak kullanılan nitratlar, asetatlar, klorürler, vb. ve şelatlama ajanı olarak sitrik asit (CA) ve çapraz

<sup>1,2</sup> Corresponding Author: Bilecik Seyh Edebali University Faculty of Engineering Chemical Engineering Department, Bilecik, Turkey, ORCID: 0000-0002-4926-044X, [zerrin.yarbay@bilecik.edu.tr](mailto:zerrin.yarbay@bilecik.edu.tr), [zerrinyarbay@gmail.com](mailto:zerrinyarbay@gmail.com)

bağlayıcı olarak moleküler seviyede bir polimerik reçine oluşturması, metal iyonlarının ayrışmasını azaltması ve yapıda homojenliği sağlaması sebebiyle etilen glikol (EG) kullanır. Pechini yöntemi ile alkoksit bazlı sol-jel yönteminde sıklıkla ortaya çıkan zorlukların ve dezavantajların birçoğunun üstesinden gelmek mümkün görünmektedir. Bu çalışma ile kalsinasyon sıcaklığının, etilen glikol içermemek sureti ile modifiye edilmiş Pechini yöntemi ile hazırlanan  $\text{LaNiO}_3$  katalizörlerinin fiziksel özellikleri üzerindeki etkisini detaylı bir şekilde ortaya koymaktadır. Fiziksel özelliklerin incelenmesi amacıyla, X-ışını kırınımı (XRD), Taramalı elektron mikroskopisi (SEM) ve  $\text{N}_2$  adsorpsiyon/desorpsiyon teknikleri kullanılmıştır. Sıcaklıktaki değişime bağlı olarak LNO perovskit yapıda yüzey alanında azalma ve gözenek hacmi ve gözenek boyutunda artış gözlenmiştir. XRD çalışmaları ile  $700^\circ\text{C}$ 'de kalsine edilen LNO perovskit tipi oksitinin,  $500^\circ\text{C}$ 'de kalsine edilen perovskit ile kıyaslandığında neredeyse homojen bir  $\text{LaNiO}_3$  perovskite fazı oluşumu sağladığı ortaya konmuştur. Çalışma, LNO'nun çapraz bağlama maddesi olarak EG içermemek sureti ile modifiye edilmiş Pechini yöntemi ile  $700^\circ\text{C}$ 'nin üzerindeki kalsinasyon sıcaklıklarında çalışılması durumunda başarıyla hazırlanabileceğinin altını çizmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Perovskit, Kalsinasyon sıcaklığı,  $\text{LaNiO}_3$ , Modifiye edilmiş Pechini yöntemi.

## 1. Introduction

Perovskites denoted by the general formula  $\text{ABO}_3$  (where: A is a rare earth element; B is a transition metal) are getting awareness in the past two decades due to the possibilities for utilizing as fuel cell anodes and cathodes, catalysts, photocatalysts and thermoelectric materials (Granger et al., 2015). Numerous metal cations are established in the assembly of perovskite  $\text{ABO}_3$ , approved that their cationic radii show the size of 12-coordinated A and 6-coordinated B sites:  $r_A > 0.90 \text{ \AA}$  and  $r_B > 0.51 \text{ \AA}$ .

Perovskites can be synthesized using many methods like sol-gel, hydrothermal, spray pyrolysis, co-precipitation, solid state and Pechini. The properties of perovskites count on the method of manufacturing them. The dimension of perovskite particles strongly influences their structural and magnetic properties (Kucharczyk et al., 2019). Sol-gel method is almost certainly one of the most fundamental, practical and routine methods which has been used, developed and modified in researches for many years (Barakel and Ghorbel, 1998). Within years, a method of polymeric precursors established via Pechini by modifying sol-gel method (Barros et al., 2006). While the particles exist a gel structure in sol-gel method, the metal cations are surrounded in the polymer gel in the Pechini method. This diminishes the capability to develop controlled natures and includes the development of hard crystallite agglomerates. The dimension of the concluding creation is well-ordered, to an extent, by the sintering procedure and the early concentration of metals exist in the gel (Dimesso, 2018).

The Pechini process suggests numerous benefits over other methods, as well as low price, respectable compositional homogeneity, great purity, and comparatively low treating temperatures (Agarwal & Liu, 1997). Likewise, the Pechini process was utilised for the production of electric and magnetic materials rather comprehensively, as well as ferroelectric and capacitors, superconducting materials, photocatalysts, magneto-optical materials, and electrolytics in order to utilize in solid oxide fuel cells (Dimesso, 2018). However, the drawback of the Pechini technique, similar to many techniques, is positioned in the absence of size and morphological control.

The method is founded on the metallic citrate polymerization exhausting ethylene glycol. In general, citric acid (CA) is utilized as chelate cation (Lopes et al., 2009). Citrate has the capability to figure out complex structures and chemical homogeneity concluded mixing at molecular level in the solution with a fixed control of the stoichiometry (Niranjan et al., 2005). The accumulation of a glycol favors to the development of an ester. Polymerization is expected to promote by heating of the mixture (Lopes et al., 2009). Ammonium hydroxide is also utilized as adjusting the pH and to prevent lead citrate precipitation (Lemos et al., 2005).

In the literature, it is possible to find studies underlying the effect of hydrocarboxylic acid and glycols in Pechini method. The researchers investigated alternative routes without chelating or cross-linking agents. For instance, Selbach et al. studied about developing an adapted Pechini technique where citric acid was substituted with malic, tartaric acid and maleic acid were utilised for procurement  $\text{BiFeO}_3$  powders and lead to single phase  $\text{BiFeO}_3$  from  $425$  to  $500^\circ\text{C}$ . In case of using malic acid instead of citric acid without EG, it was able to achieve single  $\text{BiFeO}_3$  phase. When the researchers used tartaric acid without EG,  $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$  was observed as a second phase beside  $\text{BiFeO}_3$  phase (Selbach et al., 2007). Besides, Wang et al. studied about molybdenum oxide ( $\text{MoO}_2$ ) microspheres by adapted Pechini technique. The effects of CA, EG, and  $\text{H}_2\text{SO}_4$  existence on the development of  $\text{MoO}_2$  examined in detail. Their outcomes verified that EG is advantageous for the spherical morphology (Wang et al., 2006).

To the best of found knowledge, there are few studies which include Selbach et al. and Wang et al. that deal with especially synthesis of perovskite without ethylene glycol via Pechini's method. Within this framework, the current work targets to search the influence of calcination temperature on the structural of the perovskite in detail. According to this, the samples were arranged by modified Pechini technique and calcined at  $500$ , and  $700^\circ\text{C}$  was characterized by XRD,  $S_{\text{BET}}$  analysis and SEM. The effect of calcination temperature with modified Pechini method is deliberated in the light of such information.

## 2. Material and Method

A modified Pechini technique was used to arrange the samples. Powders of  $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (from ABCR, 99% purity) and  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (from Panreac, 99% purity) were evaluated according to the calculated quantities and dissolved in distilled water. Citric acid (from ADR, for synthesis) was used as a chelating agent. The solution was heated at  $90^\circ\text{C}$  fixed for 10 hour (Rida et al., 2012). The final powder was calcined at  $500^\circ\text{C}$  or  $700^\circ\text{C}$  for fixed 5 hour. While sample calcinated at  $500^\circ\text{C}$  was denoted as LN5, the sample obtained at  $700^\circ\text{C}$  ascribed as LN7.

The crystalline and phase identification of the LNOs was achieved via PANalytical X'Pert Pro Materials Research Diffractometer using  $\text{CuK}\alpha$  radiation ( $\lambda=0.15406$  nm). The X-ray tube was functioned at 45 kV and 40 mA with a step size of  $2^\circ/\text{min}$  from  $10$  to  $90^\circ$  ( $2\theta$ ). The textural properties including Brunauer–Emmett–Teller (BET) specific area, pore volume and average pore diameter (Barrett–Joyner–Halenda (BJH) method) were achieved from nitrogen physisorption capacities at a relative pressure of  $P/P_0 = 0.98$  using a Micromeritics ASAP 2020 instrument. The morphology of catalysts was studied using a Zeiss Supra VP 40 scanning electron microscope with SE2 detector operating at 15 kV.

### 3. Results and Discussion

The XRD measurements carried out on the LNO catalysts are illustrated in Figure 1. LNO catalyst calcined at  $700^\circ\text{C}$  showed that the structure consisted of hexagonal  $\text{LaNiO}_3$  (Ref. Code: 98-017-3477) and a small amount of hexagonal  $\text{NiO}$  (Ref. Code: 98-016-6115) phases at  $2\theta = 37.8$  and  $43.6$  diffractions. Ortorombik  $\text{La}_2\text{NiO}_4$  (Ref. Code: 98-000-0244) phase was detected besides hexagonal  $\text{NiO}$  and hexagonal  $\text{La}_2\text{O}_3$  (Ref. Code: 98-002-6864) phases in LN5. The structure of  $\text{La}_2\text{NiO}_4$  belongs to the perovskite structure of  $\text{A}_2\text{BO}_4$ . One of the previous studies showed that it is possible to meet this structure due to the insufficient calcination temperature (Guo et al., 2003). The XRD peaks of the LNO samples showed that along with the rise of calcination temperature, the peak intensity enlarged.

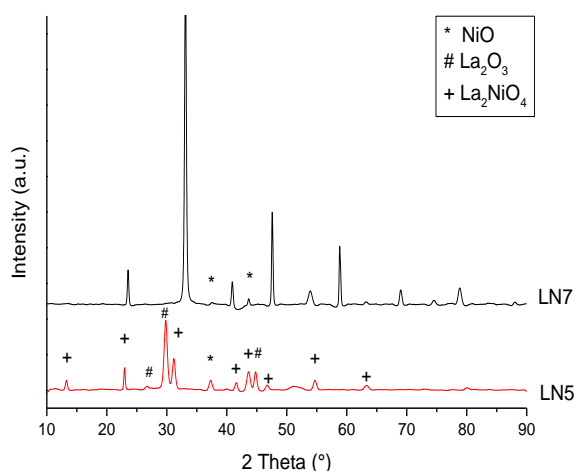


Figure 1. XRD spectrum of LNO samples.

The SEM micrographs of LNOs structures (Figure 2) indicated that samples were aggregated with irregular shapes for LN7. The surfaces of the layer in LN7 were wrinkled. Small particles formed in the big agglomerates were noticed with increasing the calcinations from  $500$  to  $700^\circ\text{C}$ . LN5 was more porous and collected of numerous tiny spots which also can be expected from higher BET surface area result as well.

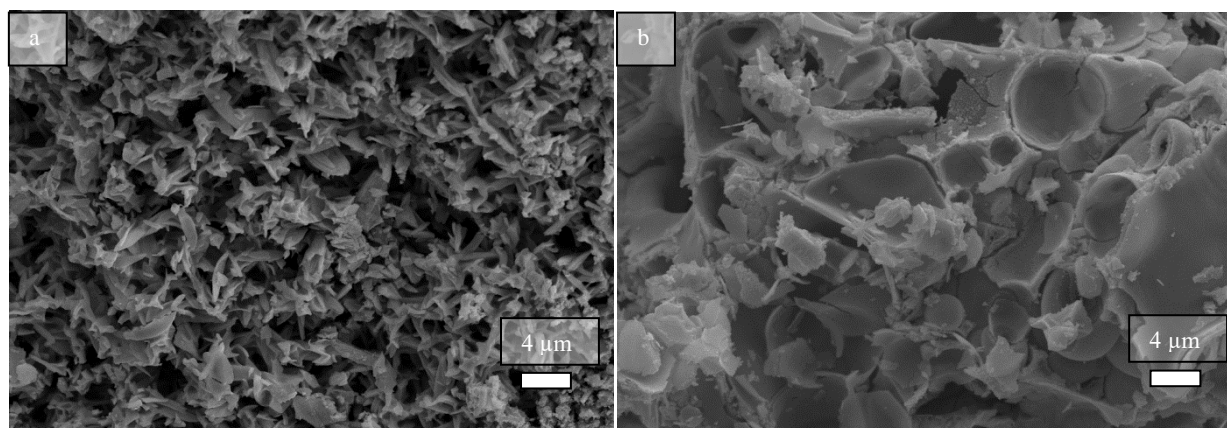


Figure 2. SEM images of: (a) LN5 and (b) LN7.

The textural properties including surface area, pore volume and average pore diameter is given in Table 1. The change with the temperature in the structure caused a reduction in surface area, pore volume and growth in pore size. This suggests that some of LNO species are incorporated which is consistent with SEM results. The structural parameters obtained indicated that the LNO species



could be successfully incorporated into the pores when the calcination temperature increased as can be seen from the decreasing BET surface area value clearly. According to the IUPAC Classification, adsorption-desorption isotherms given in Fig. 3. corresponded type III with an H3 hysteresis loop.

For pore size evaluation, the equation of Harkins and Jura was utilised (Fidalgo et al., 2013). The pore size distribution in terms of Harkins and Jura plot with FAAS correction were given in Fig. 6. The pores in structures of perovskites were uniformly distributed. Wide pore size distributions were as observed, ranging from 2-90 nm for LN5 and 14-80 nm for LN7.

Table 1. Textural properties of the catalysts.

Sample	$S_{BET}$ (m <sup>2</sup> /g)	V <sub>p</sub> (cm <sup>3</sup> /g)	D <sub>p</sub> (nm)
LN5	15.2	0.04	9.80
LN7	4.86	0.03	31.9

$S_{BET}$ : BET surface area; VP: Total pore volume; DP: Pore diameter.

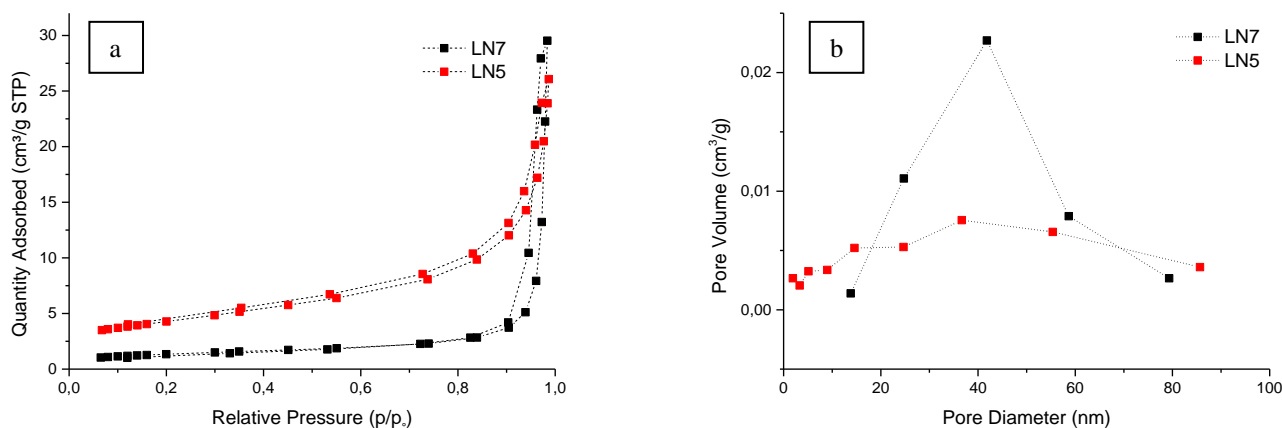


Figure 3. a)  $N_2$  adsorption/desorption isotherms and b) pore size distributions of LNOs.

## 4. Conclusion

A modified Pechini method for preparing  $LaNiO_3$  fine powders was applied. By using BET, XRD and SEM techniques, the influence of the calcination temperature on phase transformation and particle size of perovskite was studied in detail. The calcination temperature has been established to have a noticeable effect on the development of LNO and its particle size. The  $La_2NiO_4$  perovskite phase with equisized, spherical and well-dispersed particles was detected at low temperature whereas almost single acceptable  $LaNiO_3$  phase with clusters and agglomerates rather than uniform spheres were found at high temperature. The increase in calcination temperature caused a reduction in the BET specific surface area besides average pore size was increased. At the same time this clues to a rise in the degree of crystallization and result to an almost single phase perovskite which shows that the BET results were in consistent with SEM results. According to the results, single perovskite phase can be accomplished via Pechini method without ethylene glycol in case of calcination temperature above 700°C.

## References

- Agarwal, V., & Liu, M. (1997). Preparation of barium cerate-based thin films using a modified Pechini process. *Journal of Materials Science*, 32(3), 619-625.
- Baraket, L., & Ghorbel, A. (1998). Control preparation of aluminium chromium mixed oxides by Sol-Gel process. In *Studies in Surface Science and Catalysis* (Vol. 118, pp. 657-667). Elsevier.
- Barros, B. S., Barbosa, R., Dos Santos, N. R., Barros, T. S., & Souza, M. A. (2006). Synthesis and X-ray diffraction characterization of nanocrystalline ZnO obtained by Pechini method. *Inorganic materials*, 42(12), 1348-1351.
- Ciriminna, R., Fidalgo, A., Pandarus, V., Beland, F., Ilharco, L. M., & Pagliaro, M. (2013). The sol-gel route to advanced silica-based materials and recent applications. *Chemical reviews*, 113(8), 6592-6620.



- Dimesso, L. (2018). Pechini Processes: An Alternate Approach of the Sol-Gel Method, Preparation, Properties, and Applications. *Handbook of Sol-Gel Science and Technology: Processing, Characterization and Applications*, 1067-1088.
- Granger, P., Parvulescu, V. I., Kaliaguine, S., & Prellier, W. (2015). *Perovskites and related mixed oxides: concepts and applications*. P. xxxv, John Wiley & Sons.
- Guo, J., Lou, H., Zhu, Y., & Zheng, X. (2003). La-based perovskite precursors preparation and its catalytic activity for CO<sub>2</sub> reforming of CH<sub>4</sub>. *Materials Letters*, 57(28), 4450-4455.
- Kucharczyk, B., Okal, J., Tylus, W., Winiarski, J., & Szczygieł, B. (2019). The effect of the calcination temperature of LaFeO<sub>3</sub> precursors on the properties and catalytic activity of perovskite in methane oxidation. *Ceramics International*, 45(2), 2779-2788.
- Lemos, F. C. D., Melo, D. M. A., & Da Silva, J. E. C. (2005). Up-conversion luminescence in Er<sup>3+</sup>/Yb<sup>3+</sup>-codoped PbTiO<sub>3</sub> perovskite obtained via Pechini method. *Materials research bulletin*, 40(1), 187-192.
- Lopes, K. P., Cavalcante, L. S., Simões, A. Z., Varela, J. A., Longo, E., & Leite, E. R. (2009). NiTiO<sub>3</sub> powders obtained by polymeric precursor method: synthesis and characterization. *Journal of alloys and compounds*, 468(1-2), 327-332.
- Niranjan, R. S., Hwang, Y. K., Kim, D. K., Jhung, S. H., Chang, J. S., & Mulla, I. S. (2005). Nanostructured tin oxide: Synthesis and gas-sensing properties. *Materials chemistry and physics*, 92(2-3), 384-388.
- Rida, K., Peña, M. A., Sastre, E., & Martínez-Arias, A. (2012). Effect of calcination temperature on structural properties and catalytic activity in oxidation reactions of LaNiO<sub>3</sub> perovskite prepared by Pechini method. *Journal of Rare Earths*, 30(3), 210-216.
- Selbach, S. M., Einarsrud, M. A., Tybell, T., & Grande, T. (2007). Synthesis of BiFeO<sub>3</sub> by wet chemical methods. *Journal of the American Ceramic Society*, 90(11), 3430-3434.
- Wang, S., An, C., Zhang, Y., Zhang, Z., & Qian, Y., (2006). Ethanothermal reduction to MoO<sub>2</sub> microspheres via modified Pechini method. *Journal of Crystal Growth*, 293, 209-215.



# Malachite Green Dye Removal from Aqueous Solutions Using Invader *Centaurea Solstitialis* Plant and Optimization by Response Surface Method: Kinetic, Isotherm, and Thermodynamic Study

Mohammed Saleh<sup>1\*</sup>, Mutlu Yalvaç<sup>2</sup>, Hüdaverdi Arslan<sup>3</sup>, and Melis Gün<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Mohammed Saleh: PhD. Student, Environmental Engineering Department, Mersin University, Mersin, Turkey (ORCID: 0000-0002-3145-4457)

<sup>2</sup> Mutlu Yalvaç: PhD, Environmental Engineering Department, Mersin University, Mersin, Turkey (ORCID: 0000-0002-1281-5712)

<sup>3</sup> Hüdaverdi Arslan: PhD, Environmental Engineering Department, Mersin University, Mersin, Turkey (ORCID: 0000-0002-3053-6944)

<sup>4</sup> Melis Gün: BSc. Student, Environmental Engineering Department, Mersin University, Mersin, Turkey (ORCID: 0000-0001-7982-6013)

(İlk Geliş Tarihi 1 Ekim 2019 ve Kabul Tarihi 13 Kasım 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.643238)

**ATIF/REFERENCE:** Saleh, M., Yalvaç, M., Arslan, H. & Gün, M. (2019). Malachite Green Dye Removal from Aqueous Solutions Using Invader *Centaurea Solstitialis* Plant and Optimization by Response Surface Method: Kinetic, Isotherm, and Thermodynamic Study. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 755-768.

## Abstract

Invasive plants reduce the yield by inhibiting the development of agricultural products. In this study, invasive (CS) plant which is agricultural waste was used as adsorbent for removal of Malachite Green (MG) from aqueous solution. The adsorbent - adsorbate relationship was examined by the spectrophotometric method and Fourier transform infrared (FTIR). The surface morphology was determined by scanning electron microscope (SEM). CS surface area was measured by Brunauer, the Emmett and Teller (BET) analysis. The experiments were designed and modeled by RSM. The correlation factor of the developed model was 0.984. The capacity of 90.816 mg.g<sup>-1</sup> was achieved when MG solution with concentration of 312.5 mg.L<sup>-1</sup> was adsorbed onto 0.325 g CS for 75 min at a pH of 7.5. In this work the shaking velocity and the adsorbent size were 150 rpm and 30 mesh respectively. Langmuir, Freundlich, Temkin, and Dubinin-Radushkevich (D-R) isotherms were studied. Temkin isotherm had the highest R<sup>2</sup> of 0.997. The kinetics models of the adsorption process were investigated and fitted with pseudo-second-order kinetic (R<sup>2</sup> = 0.9982). The intraparticle diffusion model reflected the involved two steps; the first comprehended the boundary diffusion layer, while the second introduced the intraparticle diffusion effects. The adsorption was found to be endothermic with a Gibbs free energy of -4.47 KJ.mol<sup>-1</sup>. It was noted that the adsorption process was irreversible with a max percentage of desorption process of 2.16%. Column experiments were conducted to realize the adsorption process. The efficiency of the column reached 99.5% after 40 min and stilled constant. As a result, CS has shown a potential for MG removal from aqueous solution.

**Keywords:** Malachite Green; *Centaurea solstitialis*, Adsorption process; Response Surface Method.

## İstilacı *Centaurea Solstitialis* Bitkisi Kullanılarak Sulu Çözeltilerden Malahit Yeşil Boya Giderimi ve Tepki Yüzey Yöntemi ile Optimizasyon: Kinetik, İzoterm ve Termodinamik Çalışma

### Öz

İstilacı bitkiler, tarım ürünlerinin gelişimini engelleyerek ürün verimini azaltmaktadır. Bu çalışmada, sentetik bir boya olan Malachite Green (MG)'nin sulu çözeltiden uzaklaştırılmasında tarımsal atık olan istilacı *Centaurea Solstitialis* (CS) bitkisi adsorban olarak kullanılmıştır. Adsorbent - adsorbate ilişkisi, spektrofotometrik yöntem ve Fourier dönüşüm infrared (FTIR) ile incelenmiştir. Yüzey morfolojisi taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile belirlenmiştir. CS yüzey alanı Brunauer, Emmett ve Teller (BET) analizi ile

\*Mohammed Saleh: PhD. Student, Environmental Engineering Department, Mersin University, Mersin, Turkey (ORCID: 0000-0002-3145-4457), [muh.saleh89@gmail.com](mailto:muh.saleh89@gmail.com)

ölçülmüştür. Deney tasarımı ve modellemesinde RSM kullanılmış ve korelasyon faktörü 0,984 olarak bulunmuştur. Optimum çalışma koşulu olan 312.5 mg.L<sup>-1</sup>MG içeren çözeltiye (pH=7.5) 0.325 g CS (30 mesh) koyularak 150 rpm'de 75 dakika çalkalanmıştır. Çalışmada CS tanecik boyutu 30 mesh ve çalkalama hızı 150 rpm sabit tutulmuştur. Optimum çalışma koşullarında CS'nin maksimum adsorpsiyon kapasitesi 90.816 mg.g<sup>-1</sup> bulunmuştur. Sonuçlar Langmuir, Freundlich, Temkin ve Dubinin-Radushkevich (D-R) izotermi ile değerlendirilmiştir. Sonuç olarak adsorpsiyon işleminin Temkin izotermine (0,997 R<sup>2</sup>) uyan yalancı ikinci dereceden (R<sup>2</sup> = 0.9982) bir kinetik reaksiyon olduğu bulunmuştur. İntrapartikül difüzyon modeli, sırasıyla sınır difüzyon tabakası ve partikül içi difüzyon etkilerini göstermiştir. Adsorpsiyonun -4,47 KJ.mol<sup>-1</sup> Gibbs serbest enerjisi ile endotermik olduğu bulunmuştur. Desorpsiyon çalışmasında maksimum %2.16'lık bir verim elde edilmiştir. Bu sonuç CS üzerine adsorbe olan MG'nin tekrar suya karışma ihtimalinin düşük olduğunu göstermektedir. Daha sonra kolon çalışmalarına geçilmiştir. Kolonun verimliliği, 40. dakikada % 99.5'e ulaşmış ve bundan sonra sabit kalmıştır. Sonuç olarak, CS'nin, sulu çözeltiden MG gideriminde etkili bir adsorbent olduğu bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Malahit Yeşili, *Centaurea solstitialis*, Adsorpsiyon işlemi, Tepki Yüzey Yöntemi.

## 1. Introduction

Dyes are material used for coloring purposes. It can be synthetic or natural (Saxena and Raja 2014). Although Synthetic dyes are more economically and beneficiary than natural, the natural dyes are more favorable environmentally. Synthetic dyes may affect human (Bapat and Jaspal 2016) and the environment seriously (Robinson et al. 2001). Paper, hair color, food, plastic, and textile industries are examples for the dyes uses (Mittal et al. 2010). Dyes manufacturing has increased rapidly, with a production of 555 million tons/year for over 1000,000 types. Most of these types are related to water pollution (Mittal et al. 2009; Saravanan et al. 2016). In Turkey, The productions of dyes have reached 903 thousand tons for 2018 (Paint Industry in Turkey and the World 2018).

The green crystal powder dye named Malachite Green (MG) is soluble in water and belongs to tri phenyl methane category (Raval et al. 2016). It is not used in dyeing only, but it used as antiseptic, antiphlastic, antibacterial and antifungal. It can cause nervous system, skin, eye, kidney, and heart damages. So a proper treatment should be chosen to protect the human and the environment (Raval et al. 2017; Khan et al. 2011).

Several treatment methods were utilized to remove MG from aqueous solution. Levin et al. (2004) study the biodegradation of MG by white root fungi. The Malachite Green decolorization by Algal species was tested (Abd-El-Kareem and Taha, 2012). Man et al. (2012) examined the thermolysis - coagulation-flocculation process for MG removal. Chemical methods like ozonation and Fenton's reagent showed capabilities in treating MG (Zhou et al. 2013; Bai et al. 2013; Chen et al. 2002). Photocatalytic, photo-oxidative, and solar degradations were also examined (Hasanat et al. 2003; Yang et al. 2005; Aliyan et al. 2013; Bojinova and Dushkin 2011; Modirshahla and Behnajady 2006; Pirsahab et al. 2015). Efficiency, engineering perspective, value, and effectiveness still have limited on the above techniques (Raval et al. 2017).

The adsorption process is the removing of the particles employing the transfer of mass from the liquid phase onto the solid phase (Crittenden et al. 2012). The process of adsorption is more favorable than the chemical methods, it is simpler and more flexible (Tobías et al. 2018). In addition to that, the adsorption process does not generate any sludge as in the biological process (Khamparia and Jaspal 2017). For these reasons, the adsorption process became the most frequent process. Activated carbon had been used widely as an adsorbent. Because of its cost, researchers attitude to use low-cost adsorbents (Gupta 2009; Salleh et al. 2011).

Time, pH, the concentration of dye, and adsorbent mass affect the adsorption process (Saleh et al. 2019). The relation between each factor and the adsorption process should be predicted. In the past, the effect of each factor was studied individually at the time (Gadekar and Ahammed 2019). Researchers had developed a collection of statistical and mathematical techniques called Response surface method (RSM) (Bezerraa et al. 2008). RSM had solved the problem by creating a model predicting the relation between them.

Many crops are cultivated in Mersin due to its location in the Mediterranean region, climate, soil structure, and geographical features. Due to the same reasons, there are many invasive plant species grows around the crops. These plants are no useful use. They are removed from agricultural areas and disposed of as waste. One of these is *Centaurea solstitialis* (CS). Farmers try to dispose of it by chemical and physical techniques. This study aims to investigate the ability of removal of MG from aqueous solution by CS plants and optimize the process by using RSM.

## 2. Material and Method

### 2.1. Adsorbent Preparation

CS was collected from the farmland near Mersin. It was washed enough by distilled water to remove clay and other solids. After that, it was dried at 105 °C using Heraeus oven for 24 h. The dried adsorbent was grinded by ISOLAB blender and sieved at 30 mesh without any further treatment. It was prepared in adequate quantity to avoid any unexpected faults. Figure 1 shows the CS.



Figure 1. The collected CS

## 2.2. Dye Preparation

The organic chloride salt dye named Malachite green was purchased from Sigma-Aldrich. The cationic MG dye has a chemical formula of  $C_{23}H_{25}ClN_2$  (Figure 2) and a molecular weight of  $346.9 \text{ g. mol}^{-1}$ . A stock solution with 1000 ppm was prepared and kept till the end of experiments. The stock was used to prepare the proposed concentrations. The desired pHs were modified using 0.1 M sodium hydroxide (NaOH) and 0.1 M hydrochloric acid (HCl). The concentration changes were obtained using UV-visible spectroscopy at a wavelength of 618 nm (Raval et al. 2017).

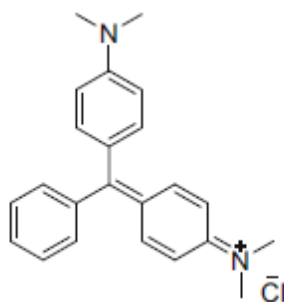


Figure 2. Chemical structure of MG dye (Raval et al. 2017).

## 2.3. Adsorbent Characterization

Adsorbent and dye weights were measured by a precision scale (Uhaus Corp Adventure); the orbital shaker (Stuart Biolab) was used to mix the solution; pH meter (ISOLAB) was used to measure the Hydrogen ions concentration in the solution. The concentrations of dyes were measured using UV-Visible spectrophotometer (T 90); Fourier transform infrared spectrophotometer was utilized to determine the CS infrared spectra. In addition to that, the surface area and surface morphology were identified by BET analysis and scanning electron microscope (SEM) (Gemini Zeiss Supra 55).

## 2.4. Batch Study

In the batch study, the common affecting factors such as pH, the mass of adsorbent, the initial concentration and the contact time were investigated (Gupta et al. 2015). The volume of solution was 100 mL for all the experiment. Samples were drained into the 250 mL flask to avoid any missing in the solution quantity. The efficiency and the adsorbent capacity ( $q_e$ ) were calculated using equation 1 and equation 2, respectively (Bagheri et al. 2019):

$$\text{Efficiency} = (C_i - C_f)/C_i \times 100\% \quad \text{Equation 1}$$

$$q_e = (C_i - C_f) \times V/m \quad \text{Equation 2}$$

Where,  $C_i$  is the MG initial concentration ( $\text{mg.L}^{-1}$ ),  $C_f$  is the final concentration ( $\text{mg.L}^{-1}$ ); respectively.  $V$  is the solution volume (L);  $m$  is the CS mass (g).

To calculate the recovery percentage, desorption experiments were conducted by soaking the exhausted adsorbent in 0.1M sodium hydroxide (NaOH) and 0.1M hydrochloric acid (HCl). The solutions were waved at 150 rpm. And the recovery percentage was calculated as shown in equation 3.

$$\% Recovery = Amountofdyedesorbed/Amountofdyeadsorbed \times 100\%$$

Equation 3

## 2.5. Isotherms

To clarify the affinity between the adsorbate and the adsorbent, adsorption isotherms were performed by exposing 200 mg.L<sup>-1</sup> of MG in 100 mL volume to various dosage of CS. Langmuir (Langmuir 1918), Freundlich (Freundlich 1906), Tempkin (Tempkin and Pyzhev 1940), and Dubinin-Radushkevich (D-R) (Dabrowski 2001) isotherms were studied. Langmuir describes the equilibrium between the solid surface and the liquid. In this case, it describes the equilibrium between the surface of CS and the MG. The formation of MG monolayer on the outer surface of the adsorbent CS was quantified. Equation 4 shows Langmuir isotherm linear form (Langmuir 1918). Freundlich isotherm (Equation 5) which is proposed originally as an empirical formula, describes the heterogenous of the CS (Freundlich 1906). Temkin isotherm describes the adsorption heat. It assumes that the heat of the adsorbent will decrease linearly for all molecules in the layer as shown in Equation 6 (Aharoni and Ungarish 1977). The distribution of Gaussian energy onto a heterogeneous surface was described by Dubinin-Radushkevich (D-R) as shown in Equation 7 (Gunay et al. 2007). The linear form of the used isotherm represented in Table 1.

Table 1. Shows the linear form of the used isotherm.

Isotherm	Linear form	Equation	Reference
Langmuir	$C_A/q_A = 1/(b_A q_m) + C_A/q_m$	Equation 4	(Langmuir 1918)
Freundlich	$\text{Log}(q_A) = \text{log}(K_A) + (1/n)\text{log}(C_A)$	Equation 5	(Freundlich 1906)
Temkin	$q_A = RT/b_T \text{Ln}A_T + RT/b_T \text{ln}C_A$	Equation 6	(Tempkin and Pyzhev 1940)
Dubinin-Radushkevich (D-R)	$\text{Ln}q_A = \text{Ln}q_s - K_{ad}[\text{RTLn}(1 + 1/C_A)]^2$	Equation 7	(Dabrowski 2001)

- C<sub>A</sub> is the concentration of adsorbate A at the equilibrium (mg.L<sup>-1</sup>)
- b<sub>A</sub> is the Langmuir constant for the adsorbate A (L.mg<sup>-1</sup>)
- Q<sub>M</sub> maximum adsorbent capacity at saturation (mg.g<sup>-1</sup>)
- K<sub>A</sub> is the Freundlich adsorption capacity parameter (mg.g<sup>-1</sup>) (L.mg<sup>-1</sup>)<sup>1/n</sup>
- 1/n is the intensity parameter
- R is the universal gas constant (8.314J K<sup>-1</sup> M<sup>-1</sup>)
- T is the absolute temperature
- b<sub>T</sub> is Temkin isotherm constant
- A<sub>T</sub> is the binding constant (L.g<sup>-1</sup>)
- q<sub>s</sub> is the theoretical saturation capacity (mg.g<sup>-1</sup>)
- K<sub>ad</sub> is the isotherm constant (mol<sup>2</sup>.kj<sup>-2</sup>)
- T is the absolute temperature

## 2.6. Adsorption Kinetics

Kinetic studies were performed by analysing the sample over time. The sampling process continued until the concentration of the sample became closer. The samples were fitted by Lagergren's pseudo first order model (Pal and Pal, 2017) and pseudo second-order model (Robati, 2013) as shown in Equation 8 and 9 respectively.

$$\text{Log}(q_e - q_t) = \text{Log}q_e - (k_1/2.303)t \tag{Equation 8}$$

$$t/q_t = 1/(K_2 q_e^2) + (1/q_e)t \tag{Equation 9}$$

Where q<sub>e</sub> and q<sub>t</sub> are the adsorbent (CS) capacity at the equilibrium and at time (t) respectively (mg.g<sup>-1</sup>). k<sub>1</sub> is Lagergren's constant (min<sup>-1</sup>), k<sub>2</sub> is the constant of second order rate (mg.g<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>). In addition to that, intraparticle diffusion model was plotted to as shown in equation 10 (Belhouchat and Zaghouane-Boudiaf 2017).

$$q_t = K_i t^{0.5} + C \tag{Equation 10}$$

Where k<sub>i</sub> is the intraparticle diffusion rate constant (mg.g.min<sup>-1/2</sup>), C is a constant related to thickness of the boundary layer



### 2.7. Adsorption Thermodynamics

The feasibility, spontaneity, and randomness of the adsorption process can be identified by thermodynamics concepts. It realizes the relationship between the adsorbent and the adsorbate. Thermodynamics parameters were calculated as shown in Equation 11-13.

$$\Delta G = -RT \ln b \tag{Equation 11}$$

$$\Delta H = -R(T_2 T_i / (T_2 - T_1)) \ln(b_2 / b_1) \tag{Equation 12}$$

$$\Delta S = (\Delta H - \Delta G) / T \tag{Equation 13}$$

Where  $\Delta G$  is the Gibbs free energy changes;  $\Delta H$  and  $\Delta S$  is the Enthalpy and Entropy respectively;  $b$  is the Langmuir constant.  $R$  is the universal gas constant ( $8.314 \text{ J.K}^{-1}.\text{M}^{-1}$ ) and  $T$  refers to temperature in Kelvin.

### 2.8. Response Surface Method (RSM)

Response surface method was applied the same as explained in the previous study by Saleh et al. (2019). Time, pH, the concentration of MG, and the mass of CS effects were modelled by Design expert v11 program. The factors ranges were determined and entered into the model (Saleh et al. 2019). Table 2 shows the factors and level of interest.

Table 2. Factors and level of interest

Variables	Unit	Factors	Low	High
pH	-	A	4.5	7.5
Time	Min	B	33.75	91.25
CS mass	G	C	0.325	0.775
MG concentration	mg L <sup>-1</sup>	D	137.5	312.5

### 2.9. Column Study

Column experiment is an important issue to decide if the adsorbent can be realized or not. The experiment was conducted in 25 cm long column with an internal diameter of 1cm. The adsorbent was inserted into the column for a height of 10 cm and compacted to fill the spaces. The column was fed from the bottom flowrate of  $1.8 \text{ mL}.\text{min}^{-1}$  by a peristaltic pump. The influent and the effluent were kept constant. The samples were collected from the top of the column. Every 5 mL the samples were analysed and the efficiency of the column system was calculated as shown in Equation 1. In the studies carried out with similar plants, the removal of dyes with concentration of 50 ppm from liquid solution was accomplished in column systems. 50 ppm as initial concentration was accepted and a column study was performed.

## 3. Result and Discussion

### 3.1. CS Characterization

In this study, the characterization of the CS adsorbent was carried out to understand the properties of the adsorbent. According to SEM results, the surface of the adsorbent can be considered cruelty, porous and heterogeneous. The SEM was carried to the sample before and after the adsorption process. Figure 3.a shows the raw CS while Figure3.b shows the CS after the adsorption.

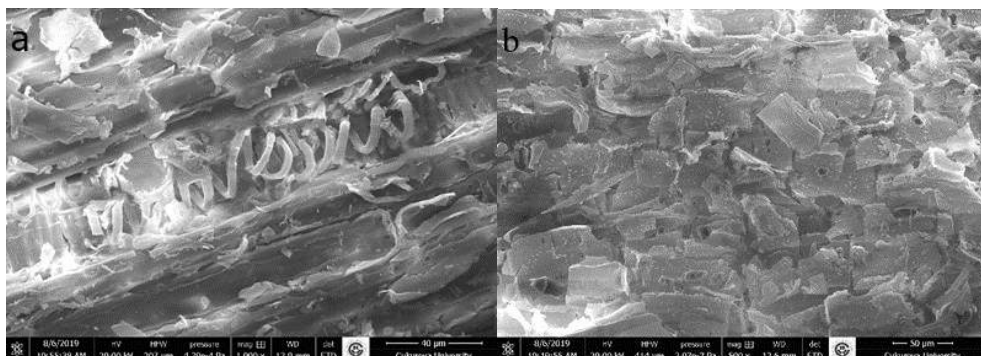


Figure 3. a) SEM for CS before adsorption process b) SEM for CS after adsorption process.

The surface area of the adsorbent CS was measured by BET analysis. The surface area and the Micro pore volume for the adsorbent before the adsorption process were found to be  $4.97 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$  and  $0.37 \text{ mm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ . This value is 2 times larger than *Xanthium Italicum* (Saleh et al. 2019). The surface area decreased at the end of the adsorption to reach  $2.7 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ . The adsorption process also affected the Micro pore volume since there was no Micro pore detected in the sample.

The Fourier transform infrared spectra for the adsorbent CS was determined using FTIR analysis. The peak related to the functional group of N-H stretching changed from the  $3325.64 \text{ cm}^{-1}$  to  $3276.90 \text{ cm}^{-1}$ . The intensity of these peaks increased from 30.45 to 33.14. The intensity of C-H stretching at band  $2916.81 \text{ cm}^{-1}$  has increased from 24.43 to 29.88. As pointed in Figure 4, the chemical structure of the adsorbent had been changed. Two new peaks were marked. The first peak related to the C-H stretching functional group was noticed at a band of  $2849.31 \text{ cm}^{-1}$ . The second was at the wavelength of  $893.84 \text{ cm}^{-1}$  related to the functional group of C-Cl stretching. Three peaks were not noticed after the adsorption process. Those were at the band of  $593.97, 1157.08, 1714.41 \text{ cm}^{-1}$ . Over the bands from  $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$ , many peaks had been shifted. These results confirm the effect of the functional group. Since the structure of the adsorbent had been changed, the adsorption of MG onto CS can be considered chemisorption.

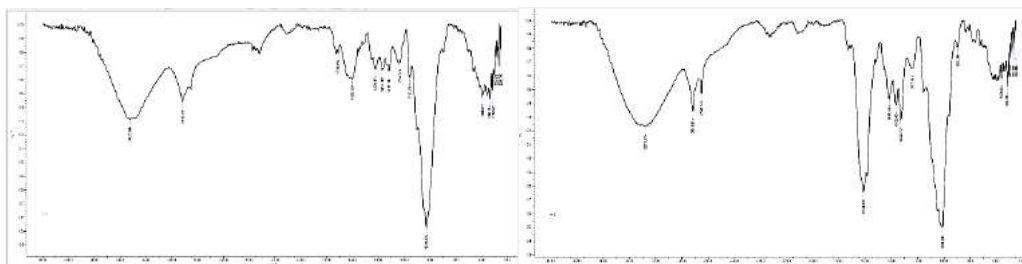


Figure 4. FTIR analysis a) before adsorption b) after adsorption.

### 3.2. Response Surface Method (RSM)

The batch experiments were designed by RSM. The performance of MG removal from aqueous solutions by CS was modelled (Appendix A shows the experiments and their responses). The four factors effects were studied by Central Composite Design (CCD). The response from the CCD method ranges from 8.14-122.5. The ratio between the maximum and the minimum value was larger than 10, which required a transformation method. The inverse square root transform was selected. Box-Cox graph for power transformation was plotted to compare the current lambda with the best one. Box-Cox plot is shown in Figure 5.

Design-Expert® Software  
Trial Version

$1/\sqrt{\text{Capacity} + 7.00}$

Current transform:  
Inverse Sqrt

Current Lambda = -0.5  
Best Lambda = -0.51  
CI for Lambda: (-0.86, -0.15)

Recommended transform:  
Inverse Sqrt  
(Lambda = -0.5)

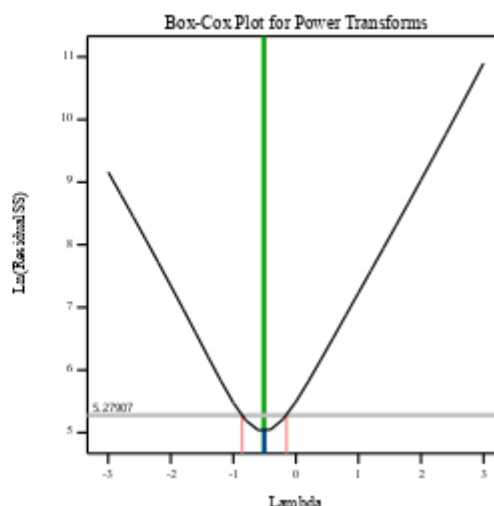


Figure 5. Box-Cox plot for power transformation

The results also were fitted by linear, 2FI, Quadratic and cubic. Since Quadratic has the largest correlation factor, it was chosen to fit the data. Model statistic summary and Sequential Model Sum of Squares are shown in Appendix B.1 and B.2 respectively. Analysis of variance (ANOVA) for the quadratic model was carried out (Appendix B.3). The significant factors were determined via P and F-values. MG removal by CS model was significant since it has an F-value of 68.59. The P-value smaller than 0.01, thus the model is significant at a 99% confidence level (Roosta et al. 2014). In addition to that, the model parameters those have P-value smaller than 0.05 are significant. In this case A, C, D, AC, B<sup>2</sup>, C<sup>2</sup>, D<sup>2</sup> are significant model terms.

The developed model was used to predict the CS capacity response to the change in the defined parameters. The relationship between the factors and the capacity of the adsorbent is shown in equation 14.

$$\frac{1}{\sqrt{qt+7}} = 00.331826221 - 0.017824498341752A - 0.00052011920206277B + 0.091813100571215C - 0.00096958263961297D + 0.000017003283000342AB + 0.014350244234536AC + 0.000013329893732484AD - 0.00003695009401308BC - 2.7976247962452 \times 10^{-07}BD - 0.00001808374768725CD + 0.0002214615369295A^2 + 0.0000032843042807735B^2 - 0.068342335665863C^2 + 0.0000012792310917991D^2$$

Equation 14

Where A, B, C, and D are pH, time (min), mass (g), and concentration (mg.L<sup>-1</sup>) respectively.

The regression coefficient (R<sup>2</sup>) for the created model was found to be 0.9846. The difference between R<sup>2</sup> and the adjusted R<sup>2</sup> was 0.0143, which could be neglected. Same results were obtained by Khamparia and Jaspal (2017). Since the difference between the adjusted R<sup>2</sup> and the predicted R<sup>2</sup> was 0.0589, which is lesser than 0.2. Furthermore, the model showed a good coincidence between the observed and the predicted as shown in Figure 6 (Khamparia and Jaspal 2017).

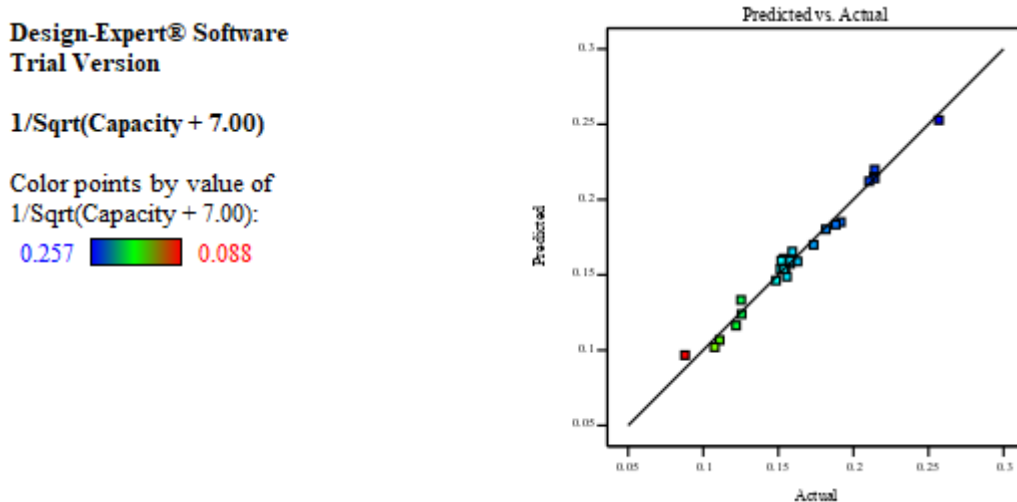


Figure 6. Predicted and the actual results


### 3.3. Model Optimization

The model was optimized by changing the values of the parameters. The capacity of 90.816 mg.g<sup>-1</sup> was achieved when MG solution of 312.5 mg.L<sup>-1</sup> concentration was adsorbed onto 0.325 g CS for 75 min at a pH of 7.5. The desirability of these conditions reached 0.992.

### 3.4. Effect of Parameters on the Capacity

In this study, the range of pH was between 3 and 9. Because of the bonds between the surface of the CS and the Mg functional group, the CS capacity increases with the pH until pH =7.5. Sartape et al. (2017) used *Limonia acidissima* (wood apple) shell to remove MG from the aqueous solution and the maximum efficiency was when pH ranged between 7.5 and 8. The capacity of the CS has an inverse relationship with the mass of adsorbent. The maximum capacity obtained at 0.325g. Figure 7 shows the relationship between the pH, adsorbent mass and the capacity of CS.

Design-Expert® Software  
 Trial Version  
 Factor Coding: Actual  
 Original Scale

Capacity (mg/g)  
 8.14545  122.5

X1 = A: pH  
 X2 = C: Mass

Actual Factors  
 B: Time = 91.25  
 D: Concentration = 312.5

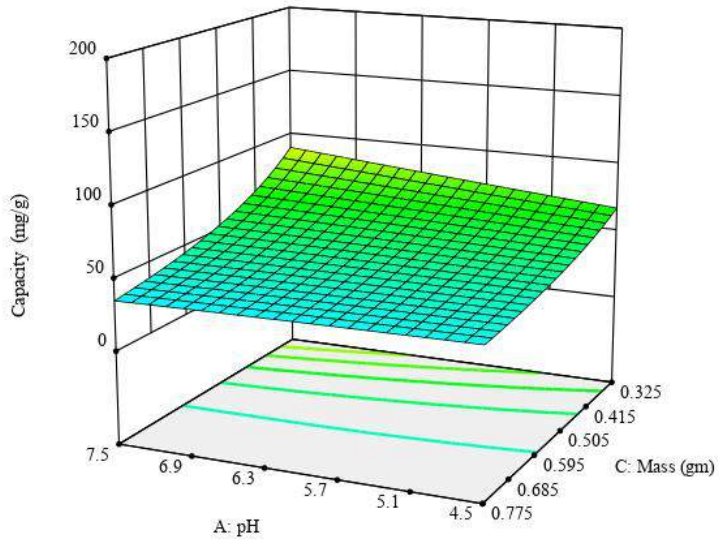



Figure 7. pH, adsorbent mass and the CS capacity relationship at time of 91.25 min and a concentration of 312.5mg.L<sup>-1</sup>.

The contact time effects were also explored. The capacity increased with time until the minute of 56.75 where it reached the equilibrium and fixed. The concentration of malachite green has a proportional relationship with the capacity as shown in Figure 8. The maximum capacity was found at MG concentration of 312.5 mg.L<sup>-1</sup>.

Design-Expert® Software  
 Trial Version  
 Factor Coding: Actual  
 Original Scale

Capacity (mg/g)  
 8.14545  122.5

X1 = B: Time  
 X2 = D: Concentration

Actual Factors  
 A: pH = 7.5  
 C: Mass = 0.325

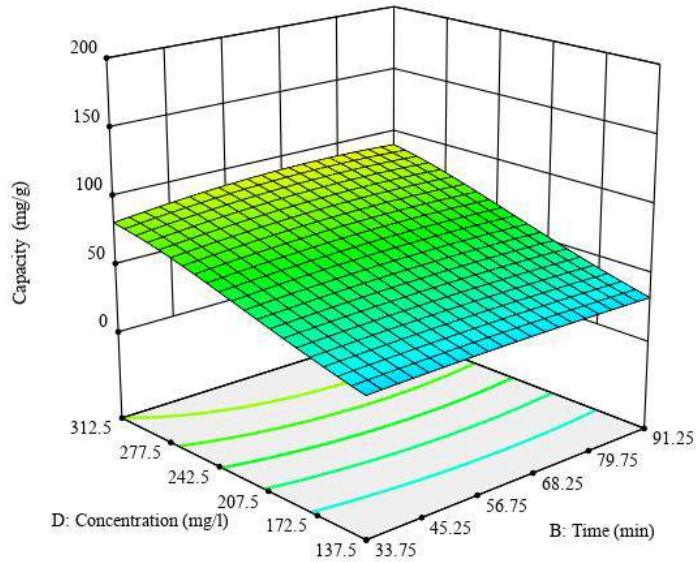


Figure 8. The contact time, MG concentration and the CS capacity relationship at pH = 7.5 and a mass of 0.325 g

### 3.5. Isotherm

Langmuir, Freundlich, Temkin, and Dubinin-Radushkevich (D-R) isotherms were plotted (as shown in Appendix C). The slope and y-axis intercept were determined to find the isotherms coefficients and summarized in Table 3. Temkin isotherm had the highest

regression value of 0.997, while the Langmuir isotherm had the lowest regression value of 0.697. Temkin isotherm had the best fit than the others. Multi-layers of MG adsorbed onto CS with the heterogeneous surface.

Table 3. Isotherm Coefficient

Isotherm	Coefficient	
Langmuir	$q_m(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	140.85
	$b_A(\text{L}\cdot\text{mg}^{-1})$	0.008
	$R^2$	0.697
Freundlich	$1/n$	1.269
	$K_A(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})(\text{L}\cdot\text{mg}^{-1})^{1/n}$	0.611
	$R^2$	0.987
Temkin	$A_T(\text{L}\cdot\text{g}^{-1})$	-2.40
	$b_T$	54.57
	$R^2$	0.997
Dubinin-Radushkevich (D-R)	$K_{ad}(\text{mol}^2\cdot\text{KJ}^{-2})$	$6\cdot 10^{-5}$
	$q_s(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	68.861
	$R^2$	.988

### 3.6. Kinetics

Lagergren Pseudo first-order and Pseudo second-order were plotted according to the Equations 8 and 9 as shown in Figures 9 and 10. The correlation factor of the linearity for each one was determined.

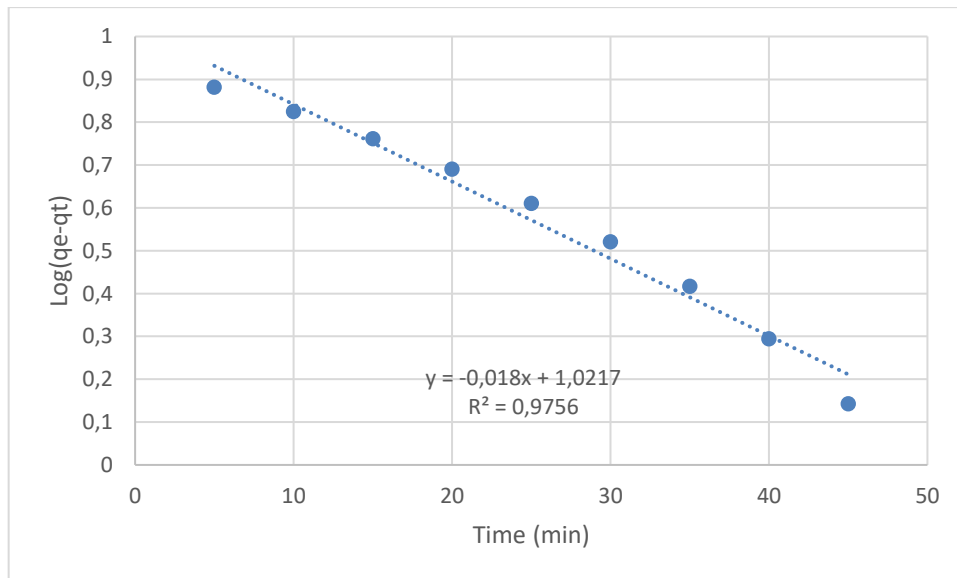


Figure 9. Lagergren's Pseudo-first order



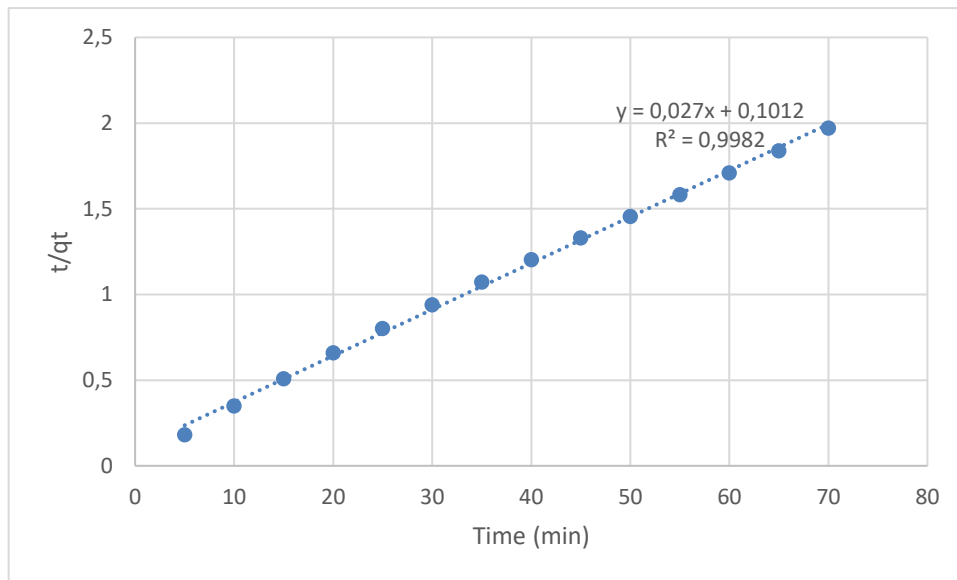


Figure 10. Pseudo-second order

The adsorption of MG onto CS was fitted to the Pseudo second-order. The correlation factor of the second order was 0.9982, and a rate constant of  $0.0072 \text{ (gm.g}^{-1}.\text{min}^{-1})$ . The first-order kinetic had correlation factor of 0.9756, and a rate constant of  $0.04145 \text{ min}^{-1}$ . The intraparticle diffusion plots reflected the adsorption steps. It involved two steps; the first linear part comprehended the boundary diffusion layer, while the second portion introduced the intraparticle diffusion effects (Figure11).

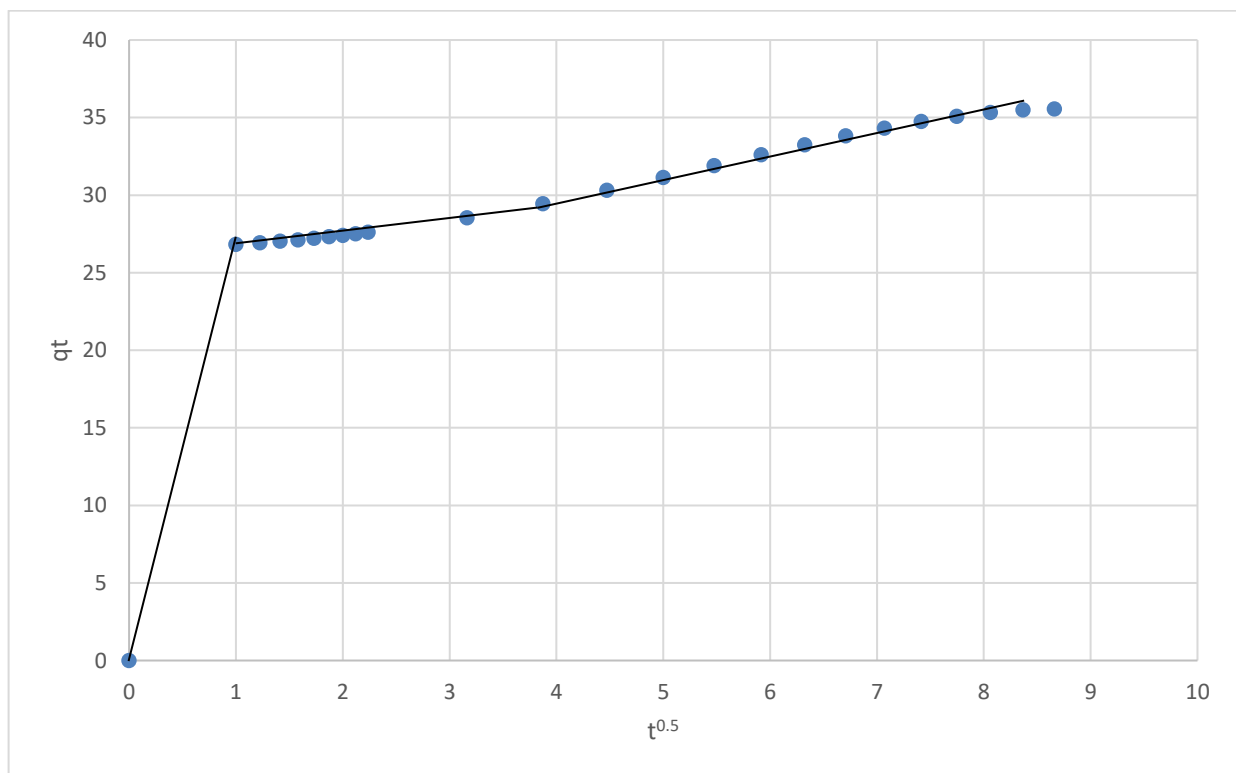


Figure 11. Intraparticle diffusion model for adsorption of MG onto CS.

### 3.7. Thermodynamics

Adsorption Thermodynamic was identified by the known parameters includes Gibbs free energy, enthalpy, and entropy. The parameters values were summarized as shown in Table 4. The Gibbs energy values for the temperatures 30, 35, 40 were  $-4.47, -5.66,$  and  $-6.46 \text{ KJ.mol}^{-1}$  respectively. Although the Gibbs energy located in the range of  $0-20\text{KJ.mol}^{-1}$ , the adsorption can be considered chemisorption. The negative sign also showed that the adsorption of MG onto CS was feasible and spontaneous in nature. From the enthalpy, the adsorption was endothermic since it had a positive value. The positive sign of entropy reflected the randomness at the solid phase interface had increased during the adsorption process.

Table 4. Thermodynamic components

Temperature (C)	Temperature(K)	$\Delta G$ (KJ.mol <sup>-1</sup> )	$\Delta H$	$\Delta S$
30	303	-4.47	56.00	0.199
35	308	-5.66		
40	313	-6.46		

### 3.8. Desorption

Desorption processes were conducted at the end of the adsorption process. The adsorbent was soaked into 0.1M HCL and 0.1 M NaOH solutions separately. It was noted that the adsorption process was irreversible. The max percentage of desorption process was 2.16 % at 180 min in acid batch. After this time, the adsorption process has started again.

### 3.9. Column Study

As mentioned previously, the column experiments were conducted to realize the adsorption process. A solution of 50 ppm was prepared and pumped from the bottom of the column with a flow of 1.8m L.min<sup>-1</sup>. The samples were analysed Every 5 mL. The efficiency of the column system was determined as shown in Figure 12. The results show an opportunity to realize the adsorption process of MG onto CS. The first sample reached and collected after 35 min from the pumping process. The efficiency reached 99.5% after 40 min and stilled constant.

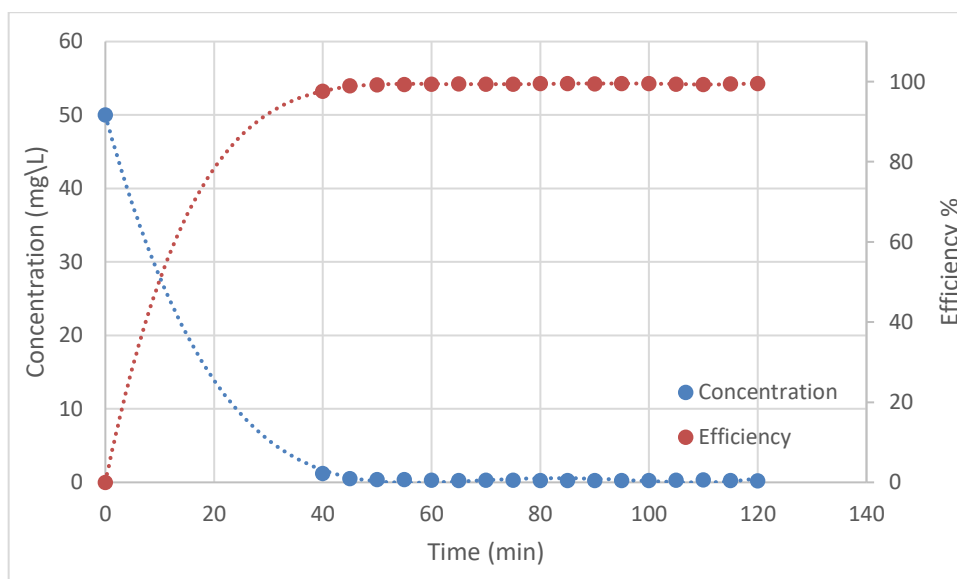


Figure 12. The removal efficiency of MG and the change in concentration along time.

### 3.10. Previous Studies

Many researchers studied the removal of MG by low cost adsorbent. A comparison between them and proposed adsorbent in this study is shown in Table 5.

Table 5. Comparison between CS and other adsorbent

Adsorbent	Isotherm	Max capacity	Kinetic Model	Thermodynamic	References
<i>Centaurea solstitialis</i> (CS)	Temkin	122.5	Pseudo 2 <sup>nd</sup> order	Endothermic	This study
Almond gum	Langmuir and Freundlich	172.4	Pseudo 2 <sup>nd</sup> order	Endothermic	Bouaziz et al. 2017
Potato stem powder (PSP)	Freundlich	27.6	Pseudo 2 <sup>nd</sup> order	Exothermic	Gupta et al. 2016
Nano chitosan-STP from shrimp shell	Freundlich	317.7	Pseudo 2 <sup>nd</sup> order	-	Salamata et al. 2019
Neem sawdust	Langmuir	4.3	Pseudo 1 <sup>st</sup> order	Endothermic	Khattri and Singh 2009
Walnut shell	Langmuir	90.8	Pseudo 2 <sup>nd</sup> order	Endothermic	Dahri et al. 2014
Rice bran	Freundlich	68.9	Pseudo 2 <sup>nd</sup> order	Spontaneous and physical	Wang et al. 2008
NaOH-modified breadnut peel	Sips	353	Pseudo 2 <sup>nd</sup> order	Exothermic	Chieng et al. 2015
Mango bark powder (MBP)	Langmuir	0.36 mmo/g	Pseudo 2 <sup>nd</sup> order	Endothermic	(Srivastava & Rupainwar, 2011)
Citric acid (CA) treated pea shells (CAPS)	Freundlich	14,49	Pseudo 2 <sup>nd</sup> order	Endothermic	(Khan, Rahman, Ali, & et.al, 2014)
<i>Limonia acidissima</i> (wood apple) shell	Langmuir	34,56	Pseudo 1 <sup>st</sup> order	Endothermic	(Sartape, Mandhare, Jadhav, & et. al, 2015)
Cellulose modified with phthalic (P) anhydride (CPA)	Langmuir	111	Pseudo 2 <sup>nd</sup> order	Endothermic	(Zhou et al, 2015)

## 4. Conclusion

In this study, invasive CS plant which is agricultural waste was used as adsorbent for removal of MG from aqueous solution. The experiments were designed and modelled by RSM. The correlation factor of the developed model was 0.984. Temkin isotherm had the highest  $R^2$  of 0.997. The kinetics models of the adsorption process were investigated and found to be fit with pseudo-second-order kinetic ( $R^2=0.9982$ ). The intraparticle diffusion model reflected the involved two steps; the first comprehended the boundary diffusion layer, while the second introduced the intraparticle diffusion effects. The adsorption was found to be endothermic. Although the Gibbs energy located in the range of 0-20  $\text{KJ.mol}^{-1}$ , the adsorption can be considered chemisorption. It was noted that the adsorption process was irreversible with a max percentage of desorption process of 2.16%. Column experiment realized the adsorption process. The efficiency of the column reached 99.5% after 40 min and stilled constant.

*Centaurea solstitialis* (CS) was used successfully in adsorption of the Malachite Green dye. Reducing or eliminating the negative environmental impact of dye-containing wastewater is of great importance for the textile industry today. Chemical treatment is the most effective and common method used for removing dyes from wastewater. Due to the chemical content of the generated sludge from the treatment system, the development of more environmentally friendly technologies is an important research topic today. Adsorption is another effective dye removal process. One of the most important problems in this process is the elimination of the dye-filled adsorbent. One of the most important features of using plant origin materials as adsorbents is that the plant does not allow the adsorbed dyes to return to the water. In this study, the dye desorption of the CS plant was found to be very low. Also, the environment can be inoperative by adsorbent after the adsorption process by burning plant wastes in emission controlled industrial facilities. The used CS in this study is an invasive plant. After the removal of invasive plants from the agricultural fields, they are left to rot or burn around the field. Emissions from uncontrolled combustion in the open area contribute to air pollution. There is no use of CS as animal feed.

## 5. Acknowledge

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors. The authors report no conflicts of interest. The authors alone are responsible for the content and writing of this article.

## Kaynakça

- Abd-El-Kareem, M., & Taha, H. (2012). Decolorization of malachite green and methylene blue by two microalgal species. *Int J Chem Environ*, 3, 297-302.
- Aharoni, C., & Ungarish, M. (1977). Kinetics of activated chemisorption. Part 2. Theoretical models. *J. Chem. Soc. Faraday Trans.*, 73, 456-464.
- Aliyan, H., Fazaeli, R., & Jalilian, R. (2013). Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> at mesoporous SBA-15: a magnetically recoverable catalyst for photodegradation of. *Appl Surf Sci*, 276, 147-153. doi:10.1016/j.apsusc.2013.03.049
- Bagheri, A. R., Arabi, M., Ghaedi, M., Ostovan, A., Wang, X., Li, J., & Chen, L. (2019). Dummy molecularly imprinted polymers based on a green synthesis strategy for magnetic solid-phase extraction of acrylamide in food samples. *Talanta*, 195, 390-400.
- Bai, C., Xiao, W., Feng, D., & al, e. (2013). Efficient decolorization of Malachite Green in the Fenton reaction catalyzed by [Fe (III)-salen] Cl complex. *Chem Eng J*, 215-216, 227-234. doi:10.1016/j.cej.2012.09.124
- Bapat, S., & Jaspal, D. (2016). Parthenium hysterophorus: novel adsorbent for the removal of heavy metals and dyes. *Glob. J. Environ. Sci. Manag.*, 2, 135-144. doi:http://dx.doi.org/10.7508/gjesm.2016.02.004.
- Belhouchat, N., Zaghouane-Boudiaf, H., & Viseras, C. (2017). Removal of anionic and cationic dyes from aqueous solution with activated organo-bentonite/sodium alginate encapsulated beads. *Appl. Clay Sci*, 135, 9-15.
- Bezerra, M. A., Santelli, R. E., Oliveira, E. P., Villar, L. S., Ame, L., & Escaleira, I. (2008). Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry. *Talanta*, 76, 965-977.
- Bojinova, A., & Dushkin, C. (2011). Photodegradation of malachite green in water solutions by means of thin films of TiO<sub>2</sub>/WO<sub>3</sub> under visible light. *React Kinet Mech Catal*, 103, 239-250. Doi: 10.1007/s11144-011-0295-2
- Bouaziz, F., Koubaa, M., Kallel, F., Ghorbel, R. E., & Chaabouni, S. E. (2017). Adsorptive removal of malachite green from aqueous solutions by almond gum: Kinetic study and equilibrium isotherms. *International Journal of Biological Macromolecules*, 105, 56-65.
- Chen, F., Ma, W., He, J., & Zhao, J. (2002). Fenton degradation of malachite green catalyzed by aromatic additives. *J Phys Chem A*, 106, 9485-9490. Doi: 10.1021/jp0144350
- Chieng, H., Lim, L., & Priyantha, N. (2015). Enhancing adsorption capacity of toxic malachite green dye through chemically modified breadnut peel: equilibrium, thermodynamics, kinetics and regeneration studies. *Environ Technol*, 36, 86-97.
- Crittenden, J. C., Trussell, R. R., Hand, D. W., Howe, K. J., & Tchobanoglous, G. (2012). *MWH's Water Treatment Principles and Design (Third Edition Ed.)*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Dabrowski, A. (2001). Adsorption—from theory to practice. *Adv. Colloid Interface Sci.*, 93, 135-224.
- Dahri, M. K., Kooh, M. R., & Lim, L. B. (2014). Water remediation using low cost adsorbent walnut shell for removal of malachite green: Equilibrium, kinetics, thermodynamic and regeneration studies. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2, 1434-1444.
- Freundlich, H. (1906). Over the adsorption in solution. *J. Phys.Chem.*, 57, 385-470.
- Gadekar, M. R., & Ahammed, M. M. (2019). Modelling dye removal by adsorption onto water treatment residuals using combined response surface methodology-artificial neural network approach. *J. Environ. Manag.* 231, 241-248.
- Gunay, A., Arslankaya, E., & Tosun, I. (2007). Lead removal from aqueous solution by natural and pretreated clinoptilolite: adsorption equilibrium and kinetics. *J.Hazard. Mater*, 146, 362-371.
- Gupta, N., Kushwaha, A. K., & Chattopadhyaya, M. (2016). Application of potato (*Solanumtuberosum*) plantwastes for the removal of methylene blue and malachite green dye form aqueous solution. *Arabian Journal of Chemistry* (9), 707-716. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2011.07.021>
- Gupta, V. (2009). Application of low-cost adsorbents for dye removal- A review. *J. Environ. Manag.* 90, 2313-2342.
- Gupta, V. K., Nayak, A., & Agarwal, S. (2015). Bioadsorbents for remediation of heavy metals: current status and their future prospects. *Environ. Eng. Res.*, 1(20), 1-18.
- Hasnat, M., Siddiquey, I., & Saiful, I. (2003). Photodegradation of malachite green in the aqueous medium. *Indian J Chem Sect A*, 42, 1865-1867.
- Khamparia, S., & Jaspal, D. K. (2017). Xanthium strumarium L. seed hull as a zero cost alternative for Rhodamine B dye removal. *J. Environ. Manag.* 197, 498-506.
- Khan, T., Sharma, S., & Ali, I. (2011). Adsorption of Rhodamine B dye from aqueous solution onto acid activated mango (*Magnifera indica*) leaf powder: equilibrium. *J. Toxicol. Env. Health Sci.*, 3, 286-297.
- Khattari, S., & Singh, M. (2009). Removal of malachite green from dye wastewater using neem sawdust by adsorption. *J Hazard Mater*, (167), 1089-1094. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.01.101>
- Langmuir, I. (1918). The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. . *Am. Chem. Soc.*, 40, 1361-1403.
- Levin, L., Papinutti, L., & Forchiassin, F. (2004). Evaluation of Argentinean white rot fungi for their ability to produce lignin-modifying enzymes and decolorize industrial dyes. *Bioresour Technol*, 94, 169-176. doi:10.1016/j.biortech.2003.12.002
- Man, L., Kumar, P., Teng, T., & Wasewar, K. (2012). Design of experiments for malachite green dye removal from wastewater using thermolysis—coagulation—flocculation. *Desalin Water Treat*, 40, 260-271. doi:10.1080/19443994.2012.671257

- Mittal, A., Mittal, J., Malviya, A., & Gupta, V. (2009). Adsorptive removal of hazardous anionic dye “Congo Red” from wastewater using waste materials and recovery by desorption. *J. Colloid Interface*, 340, 16-26. doi:10.1016/j.jcis.2009.08.019
- Modirshahla, N., & Behnajady, M. (2006). Hot oxidative degradation of malachite green (MG) by UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: influence of operational parameters and kinetic modelling. *Dyes Pigments*, 70, 54-59. doi:10.1016/j.dyepig.2005.04.012
- Pal, P., & Pal, A. (2017). Surfactant-modified chitosan beads for cadmium ion adsorption. *Int. J. Biol. Macromol.* 104, 1548-1555.
- Pirsaheb, M., Shahmoradi, B., Khosravi, T., & al. e. (2015). Solar degradation of malachite green using nickel-doped TiO<sub>2</sub> nanocatalysts. *Desalin Water Treat*, 57, 9881–9888. doi:10.1080/19443994.2015.1033764
- Raval, N., Shah, P., & Shah, N. (2016). Nanoparticles loaded biopolymer as effective adsorbent for adsorptive removal of malachite green from aqueous solution. *Water Conserv Sci Eng*, 1, 69-81. Doi: 10.1007/s41101-016-0004-0
- Robati, D. (2013). Pseudo-second-order kinetic equations for modeling adsorption systems for removal of lead ions using multi-walled carbon nanotube. *J. Nanostructure Chem.*, 3(55).
- Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R., & Nigam, P. (2001). Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *Bioresour. Technol.*, 77, 247-255. doi:http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00080-8.
- Roosta, M., Ghaedi, M., Shokri, N., Daneshfar, A., Sahraei, R., & Asghari, A. (2014). Optimization of the combined ultrasonic assisted adsorption method for the removal of malachite green by gold nanoparticles loaded on activated carbon: experimental design. *Spectrochimica Acta Part A Mol. Biomol. Spectrosc.* 118, 55-65.
- Sartape, S.A., Mandhare, A. M., Jadhav, V. V., Raut, P. D., Anuse, M. A., & Kolekar, S. S. (2017). Removal of malachite green dye from aqueous solution with adsorption technique using Limonia acidissima (wood apple) shell as low cost adsorbent. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S3229-S3238.
- Salamata, S., Hadavifar, M., & Rezaei, H. (2019). Preparation of nanochitosan-STP from shrimp shell and its application in removing of malachite green from aqueous solutions. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7. doi:https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103328
- Saleh, M., Yalvaç, M., & Arslan, H. (2019). Optimization of Remazol Brilliant Blue R Adsorption onto Xanthium Italicum using the Response Surface Method. *Karbala International Journal of Modern Science*, 5(1). doi:10.33640/2405-609X.1017
- Salleh, M. A., Mahmoud, D. K., Karim, W. A., & Idris, A. (2011). Cationic and anionic dye adsorption by agricultural solid wastes: A comprehensive review. *Desalination* (280), 1-13. Retrieved from http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2011.07.019
- Saravanan, R., Sacari, E., Gracia, F., Khan, M., Mosquera, E., & Gupta, V. (2016). Conducting PANI stimulated ZnO system for visible light photocatalytic degradation of coloured dyes. *Journal of Molecular Liquids*, 221, 1029-1033. doi:10.1016/j.molliq.2016.06.074
- Sartepe, A. S., Mandhare, A. M., Jajjav, V. V., Raut, P. D., Anuse, M. A., & Kolekar, S. S. (2017). Removal of malachite green dye from aqueous solution with adsorption technique using Limonia acidissima (wood apple) shell as low cost adsorbent. *Arabian Journal of Chemistry* (10), 3229-3238. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.12.019
- Saxena, S., & Raja, A. (2014). *Natural Dyes: Sources, Chemistry, Application and Sustainability Issues*. In Muthu S. (Eds) Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing (pp. 37-80). Singapore: Textile Science and Clothing Technology. Springer.
- Tempkin, M., & Pyzhev, V. (1940). Kinetics of ammonia synthesis on promoted iron catalyst. *Acta Phys. Chim, USSR* 12, 327–356.
- Tobías, S., Ignacio, D., Lorena, A., Gustavo, P., Matías, L., Isabela, O., Sebastian, B. (2018). Design and testing of a pilot scale magnetic separator for the treatment of textile dyeing wastewater. *J. Environ. Manag.* 218, 562-568.
- TÜİK, T. (2018). Paint Industry in Turkey and the World. Paint Istanbul& Turkcoat 2018. Istanbul. Retrieved 08 19, 2019, from http://www.turkcoat-paintistanbul.com/uploads/files/Paintistanbul\_Turkcoat\_2018\_Preview.pdf
- Wang, X., Zhou, Y., Jiang, Y., & Sun, C. (2008). The removal of basic dyes from aqueous solutions using agricultural by-products. *J Hazard Mater*, 157, 374-385.
- Yang, J., Chen, C., Ji, H., & al. e. (2005). Mechanism of TiO<sub>2</sub>-assisted photocatalytic degradation of dyes under visible irradiation: photoelectrocatalytic study by TiO<sub>2</sub>-film electrodes. *J Phys Chem B*, 109, 21900–21907. Doi: 10.1021/jp0540914
- Zhou, X.-J., Guo, W.-Q., Yang, S.-S., & al. e. (2013). Ultrasonic-assisted ozone oxidation process of triphenylmethane dye degradation: evidence for the promotion effects of ultrasonic on malachite green decolorization and degradation mechanism. *Bioresour Technol*, 128, 827-830. doi:10.1016/j.biortech.2012.10.086
- Khan, T., Rahman, R., Ali, I., & et.al. (2014). Removal of malachite green from aqueous solution using waste pea shells as low-cost adsorbent—adsorption isotherms and dynamics. *Toxicol Environ Chem*, 96, 569-578. doi:10.1080/02772248.2014.969268
- Sartape, A., Mandhare, A., Jadhav, V., & et. al. (2015). Removal of malachite green dye from aqueous solution with adsorption technique using Limonia acidissima (wood apple) shell as low cost adsorbent. *Arab J Chem*. doi:10.1016/j.arabjc.2013.12.019
- Srivastava, R., & Rupainwar, D. (2011). A comparative evaluation for adsorption of dye on Neem bark and Mango bark powder. *Indian J Technol*, 18, 67-75.
- Zhou, Y., Min, Y., Qiao, H., & et. al. (2015). Improved removal of malachite green from aqueous solution using chemically modified cellulose by anhydride. *Int J Biol Macromol*, 74, 271-277. doi:10.1016/j.ijbiomac.2014.12.020





# **Emülsifiye Edilmiş Yağın Polivinilflorür/PolivinilProlidin Membran İle Saflaştırılması**

Aydan İlkay Yucak<sup>1\*</sup>, Filiz Uğur Nigiz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye

(İlk Geliş Tarihi 1 Ekim 2019 ve Kabul Tarihi 14 Kasım 2019)

(DOI:10.31590/ejosat. 643677)

**ATIF/REFERENCE:** İlkay Yucak, A. & Uğur Nigiz, F. (2019). Emülsifiye Edilmiş Yağın Polivinilflorür/PolivinilProlidin Membran İle Saflaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 769-775.

## **Öz**

Bu çalışmada, Bentonit kili içeren polivinilflorür (PVDF) ve polivinilprolidin (PVP) bazlı adsorban membran geliştirilerek yağlı atık suların yağların seçici olarak ayrılması için kullanılmıştır. Bu membran adsorban olarak kullanıldığında emülsifiye edilmiş yağları sudan seçici olarak ayırmaktadır. Membranın farklı yağ türlerine ve suya olan ilgisi, yağ ve su içindeki şişme testleriyle belirlenmiştir. Membran morfolojisi taramalı elektron testleri ile bağ yapısı Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi ile belirlenmiştir. Sonuç olarak membranların soya yağı, fındık yağı içine daldırıldığında %200'den fazla, toluene daldırıldığında 50'den fazla yağ emilimi sağladığı görülmüştür. Aynı membranların filtrasyon testi sonucunda %65 ile %99 arasında yağ reddetme değerleri elde edilmiştir. Membrana eklenen Bentonitin akı değerini arttırdığı ancak soya ve fındık yağ reddini azalttığı görülmüştür. Toluene reddinin ise Bentonit katkısından çok fazla etkilendiği görülmüştür. %15 Bentonit katkılı membranın toluen reddi değerleri %99.9 olarak elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Adsorban membran, Polivinilflorür, Bentonit. Yağ reddi.

# **Purification of emulsified oil by Polyvinylidene Fluoride/polyvinyl pyrrolidone Membrane**

## **Abstract**

In this study, polyvinyl fluoride (PVDF) and polyvinylpyrrolidone (PVP) based adsorbent membranes containing Bentonite clay were developed and used for selective separation of oils from oily wastewater. This membrane selectively separates emulsified oils from water when used as adsorbents. The affinity of membranes in different types of oil and water was determined by swelling tests in oil and water. Membrane morphology was determined by scanning electron tests and the bond structure was determined by Fourier Infrared Spectroscopy. As a result, it was observed that greater than 200% of oil absorption was obtained when the membrane immersed in soybean oil and hazelnut oil and greater than 50% of oil absorption was achieved when the membrane immersed in toluene. Filtration test of the same membranes gave the oil rejection values between 65% and 99%. Consequently, it was evaluated that Bentonite incorporation increased the flux value. However, oil rejection was negatively affected from the Bentonite incorporation. In the case of toluene, rejection value of 99.9% was achieved when Bentonite amount was 15%.

**Keywords:** Adsorbent membrane, Polyvinylfluoride, Bentonite, Oil rejection.

\*Sorumlu Yazar: Filiz Uğur Nigiz, Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye, ORCID: 0000-0000-0000-0000, [filiz.ugur@gmail.com](mailto:filiz.ugur@gmail.com)

## 1. Giriş

Dünya nüfusun hızla artmasıyla çevre ve sanayide su kullanımı da önemli ölçüde artmaktadır. Mevcut tatlı su kaynaklarının kirlenmesi, su tasarrufu politikasının önemini arttırmaktadır (Nthunya vd., 2019, Doshi vd., 2018). Bu nedenle, atık su arıtımı, içilemez su kaynaklarından içilebilir su üretimi gibi sürdürülebilir su bilimi çok önemli hale gelmiştir.

Endüstriyel atık sular birçok tehlikeli madde içerir. Plastik kalıntılar, toksik bileşenler, ağır metaller, uçucu organik bileşenler ve yağ özütleri gibi birçok zararlı bileşen, endüstriyel tesisin atık suyundan salınır. Bu atık sular deniz suyu gibi doğal kaynaklara boşaltılır. Yağ bazlı bileşenler, gıda, ilaç, polimer, otomotiv, elektronik ve petrokimya endüstrilerinin atık sularında bulunur. Su kaynaklarında birçok yağ türü bulunabilir. Farklı endüstrilerin atık suyunda yağlama yağları, motor yağları, dizel, bitkisel yağlar gibi petrol kaynaklı yağlar bulunur. Bu tür yağlar, farklı bitki tohumlarının veya soya fasulyesi ve fındık gibi meyvelerin özütlenmesiyle ortaya çıkar. Genel olarak bitkisel yağlar gıda endüstrisinde kullanılır. Ayrıca, soya fasulyesi ve fındık yağı biyodizel üretiminde atık bitkisel bir yağ olarak kullanılır (Celikten vd., 2012). Atık sulardaki yağların miktarı, sanayide ve günlük yaşamda yağların kullanım alanlarına paralel olarak artmaktadır. Bir litre atık yağ bir milyon litre suyu kirletmektedir. Bu nedenle, sudan petrol ayrımı bilim insanlarının dikkatini çekmektedir. Su içindeki yağ bileşenlerinin düşük yoğunluğuna bağlı olarak, yağ bazlı moleküller su yüzeyinde birikir (Baron, 2012). Endüstriyel atık boşaltma işlemine ek olarak, petrol türleri petrokimyasal tesislerin veya deniz taşıtlarının arızalı borularından dökülür (Brody vd., 2010; Cui vd., 2019).

Yağları sulardan ayırmak için birçok teknik vardır (Droste ve Gehr, 2018). Bu tekniklerin çeşitliliği, yağların yapısına (emülsifiye olup olmamasına) ve yağların yayıldığı alana göre değişmektedir. Örneğin, bir petrol kazasıyla dökülen yağlar, adsorpsiyon ve kimyasal yöntemler gibi yerinde ayırma teknikleri ile giderilebilir. Biyolojik, elektrokimyasal arıtma, flokülasyon, vakum buharlaştırma, adsorpsiyon, çökeltme ve membran filtrasyon teknikleri, sudan emülsifiye edilmiş yağın arıtılmasında kullanılır. En çok tercih edilen yöntemler adsorpsiyon ve membran ayırmadır. Membran bazlı ayırma, düşük enerji tüketimi, yüksek ayırma verimliliği gibi önemli avantajlara sahiptir. Adsorpsiyon tekniğiyle karşılaştırıldığında, membran ayırımı sürekli gerçekleştirilebilir. Membran teknolojisi, uygun gözenek boyutuna bağlı olarak yağ bazlı atık suyun arıtılması kullanılmaktadır. Özellikle emülsifiye yağ damlacıklarının uzaklaştırılması için, saflaştırma herhangi bir emülsifikasyon işlemi olmadan gerçekleştirilir (Ang vd., 2015). Özellikle yüksek akı, seçicilik değerleri, ucuz üretilme özelliklerinden dolayı polimer bazlı membranlar yağlı atık su arıtımında kullanılan temel membran malzemeleridir. En çok bilinen teknikler; mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyondur (Hoslett vd., 2018). Uygun tekniğin seçimi, yağın sudaki konsantrasyonuna, arıtılmış suyun türüne ve çalışma parametrelerine göre belirlenir. Bu tekniklerin her biri, membranın gözenek boyutuna ve membranın tarafları arasındaki basınç farkına göre kategorize edilir.

Bu çalışmada, yağ emülsiyonu su karışımlarının ayrılması için Poli(viniliden florür) (PVDF)/Polivinilpirolidon (PVP) temelli kompozit membranlar üretilmiştir. Bu membranlar faz inversiyon tekniği ile gözenekli şekilde sentezlenmiştir. Poli(viniliden florür), üstün mekanik mukavemeti, iyi ısı ve kimyasal direnci ve iyi film oluşturma kabiliyeti sayesinde membran ayırma işlemlerinde kullanılan hidrofobik bir polimerdir (Kang ve Cao, 2014). Polivinilpirolidon ise hidrofilik yapıda, özellikle gözenekli membran üretmek için gözenek oluşturma ajanı olarak da kullanılan bir polimerdir (Amin vd., 2018). Membrandaki PVP içeriği, hazırlanan polimerik membranın yüzey morfolojisini etkiler. Bu çalışma kapsamında hazırlanan membran, içerdiği PVDF polimerinden dolayı, yağ seçici adsorban membran olarak karakterize edilebilir. Ancak membran sürekli bir sistemde kullanıldığı zaman, gözenek yapısından ve PVP içeriğinden dolayı suyu ortamdan ayırmaya uygundur. Bu çalışmada membranın yağ adsorpsiyon kapasitesi şişme testleri ile su ayırma kapasitesi ise vakum filtrasyon testleri ile belirlenmiştir. Membranın su akısını arttırmak için membrana Bentonit kili eklenmiştir. Eklenen Bentonit miktarının şişme değerleri, akı ve yağ reddine etkisi sabit sıcaklık ve sabit basınç şartlarında incelenmiştir.

## 2. MateryalveMetot

### 2.1. Membran Hazırlama

Polimerik membranlar, faz inversiyon tekniği kullanılarak hazırlanmıştır. Bentonit katkısız membran için, kütlece %30 PVP, %70 PVDF içeren polimer dimetilformamid (DMF) içinde 55 ° C'de dört saat karıştırılarak tamamen çözülür. Polimer çözeltisinin polimer ağırlığı %10'dur. Karışım oda sıcaklığında bir süre bekletilerek içerisindeki gazlardan arındırılır. Ardından bir cam yüzeye dökülen karışım bir su banyosuna daldırılarak iki dakika bekletilir. Banyodan alınan membran kurutularak kullanıma hazır hale getirilir. Bentonit içeren membranların hazırlanması için, ağırlıkça % 70 PVDF ve % 30 PVP içeren bir polimer çözeltisi yeniden hazırlanır. Polimer çözeltisine belirlenen miktarda Bentonit kili (ağırlıkça% 0 ile ağırlıkça% 20 arasında değişen konsantrasyon) eklenir ve oda sıcaklığında dört saat boyunca karıştırılır. Karışım cam yüzeye dökülür, su banyosunda bekletilir ve kullanıma uygun hale getirilir. Tablo 1'de membranların kil içeriğine göre adlandırılışları yer almaktadır.

Tablo 1. Membran Tanımlanması

Membran Kodu	PVDF içeriği (%)	PVP içeriği (%)	Bentonitiçeriği (%)
M-0wt. %	70	30	-
M-5wt. %	70	30	5
M-10wt. %	70	30	10
M-15wt. %	70	30	15
M-20wt. %	70	30	20

## 2.2. Membran Karakterizasyonu

Membranın kimyasal yapısı, Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) (Perkin Elmer, ATR modu) kullanılarak analiz edilmiştir. Spektroskopinin dalga boyu  $650-4000 \text{ cm}^{-1}$  arasında düzenlenmiştir. Membranların yüzey morfolojisi taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak belirlenmiştir.

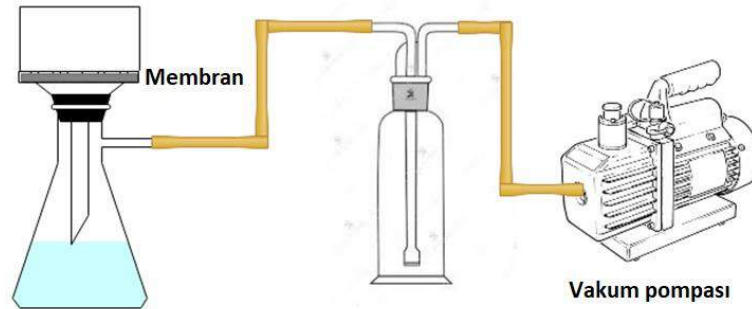
## 2.3. Yağ/Su Şişme Testi

Hazırlanan membrana farklı yüzdelerde kil eklemesinin membran-yağ ilgisi üzerindeki etkisi, şişme deneyleriyle belirlenmiştir. Farklı membranların yağ-su şişme kapasitesini belirlemek için, membran örnekleri su, soya fasulyesi yağı, fındık yağı ve toluen içine daldırılmıştır. Şişme deneyleri, numuneler sabit bir ağırlığa ulaşana kadar 90 dakika boyunca gerçekleştirilmiştir. Şişme ölçümleri, Denklem 1'de gösterildiği gibi membranın başlangıç ( $W_i$ ) ve son ( $W_f$ ) ağırlık değerleri ölçülerek yapılmıştır.

$$\text{Şişme (\%)} = \frac{W_f - W_i}{W_i} * 100 \quad (1)$$

## 2.4. Filtrasyon testi

Filtrasyon testi, Şekil 1 de gösterilen vakumlu filtrasyon test ünitesinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Vakum filtrasyon deney düzeneği

Deneyler, ağırlıkça % 1 oranında yağ içeren yağ- su emülsiyonları hazırlanarak oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Deneylerden önce, yağ-su emülsiyonu üç saat boyunca sonikatörde karıştırılmıştır. Karıştırma sonucunda süt benzeri bir renk elde edilmiştir. Hazırlanan membran gözenekli bir cam desteğe yerleştirilmiş ve yağ-su emülsiyonu hazırlanan membran üzerine beslenmiştir. Oda sıcaklığında 630 mmHg vakum uygulanmıştır. Membrandan geçen ve geçemeyen çözeltinin yağ konsantrasyonu, yağlar için 420 nm, toluen için 200 nm optimum dalga boyunda UV/Görünür spektrometre (Hach Dr 5000) ile belirlenmiştir. Membranların filtrasyon ve ayırma performansı, Denklem (2) ve Denklem (3) 'te gösterildiği gibi akı ( $F$ ) ( $\text{kg/s.m}^2$ ) ve yağ reddinin ( $R$ )(%) fonksiyonu olarak değerlendirilmiştir.

$$F = \frac{M}{t.A} \quad (2)$$

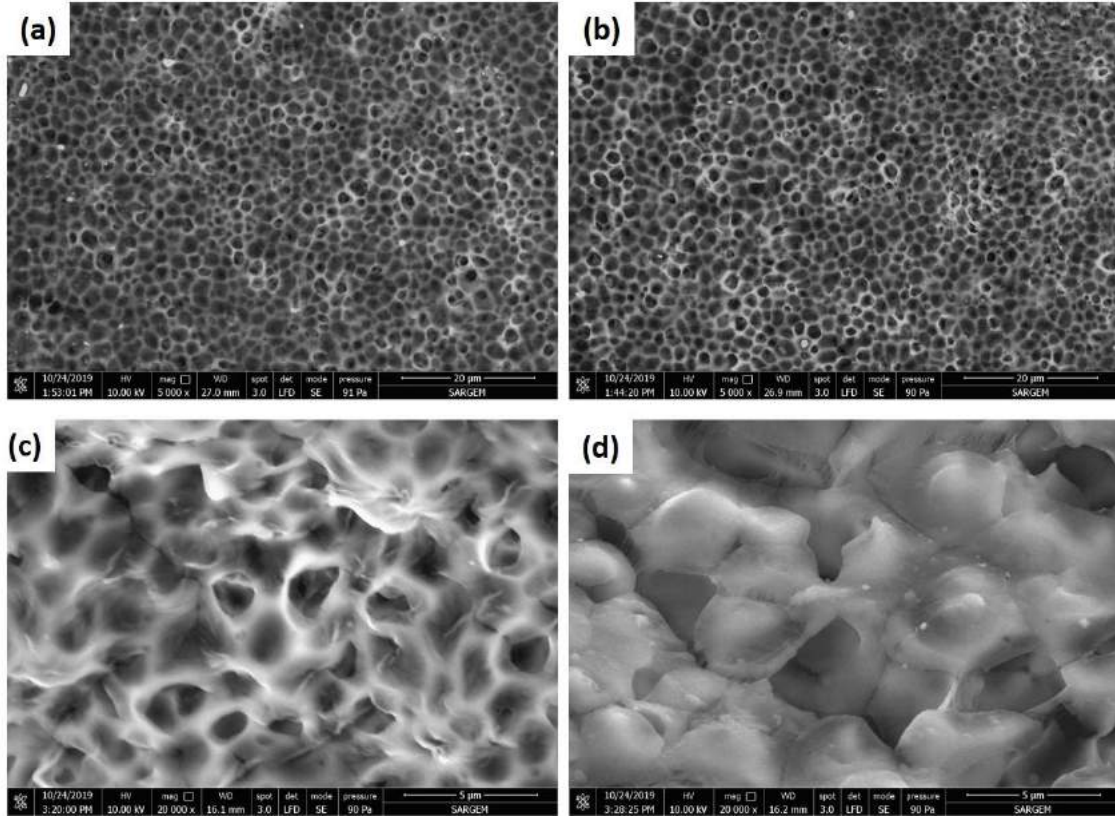
$$R(\%) = \frac{C_f - C_p}{C_p} * 100 \quad (3)$$

$M$  (kg), membranın akış aşağı tarafındaki nüfuz suyun ağırlığı olduğunda,  $t$ , filtrasyon zamanıdır (s),  $A$  ( $\text{m}^2$ ), etkili membran alanıdır.  $C_f$  ve  $C_i$  sırasıyla besleme ve permeat tarafındaki yağ-su çözeltisinin konsantrasyonudur.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Membran Karakterizasyonu

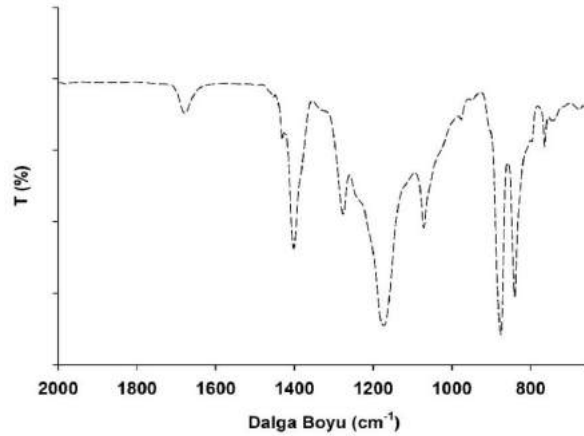
Şekil 2, farklı büyüme oranlarına sahip yüzey ve kesit saf ve %10 kil katkılı membranlarının morfolojilerini göstermektedir. Buna göre Bentonit katkısız (a) ve katkılı (b) membranların yüzey morfolojilerinde belirgin bir farka rastlanmamıştır. Her iki membranın gözenek boyutları (yaklaşık 1-1.5  $\mu\text{m}$ ), gözenek dağılımları eşit ve membran boyunca homojendir. Ancak Bentonit katkısız (c) ve katkılı (d) membranların kesit görüntülerine bakıldığında, kil eklenen membranın yapısal olarak değiştiği görülmüştür. Kilin polimerle etkileştiği, iç gözenek yapısını değiştirdiği görülmektedir. Bu değişikliğin, membranın su-yağ ilgisine, akı ve seçiciliğe etkisi şişme ve filtrasyon testleri sonucunda ortaya çıkacaktır.



Şekil 2. Membranlarının yüzey (a) Bentonit katkısız (b) Bentonit katkılı ve kesit (c) Bentonit katkısız (d) Bentonit katkılı SEM görüntüleri

SEM görüntüleri

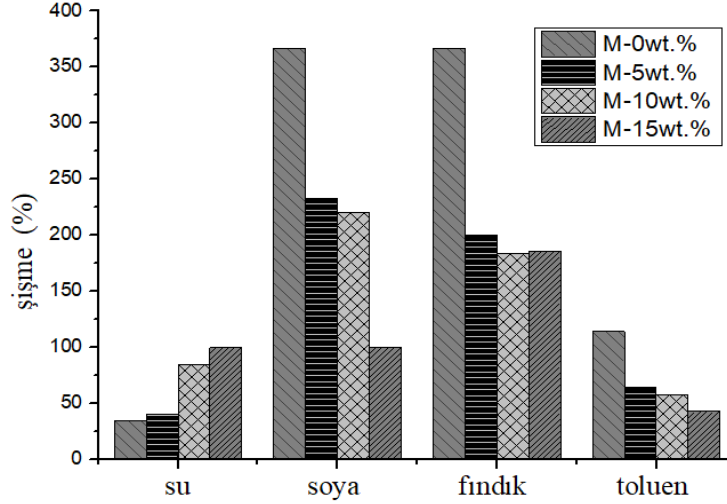
Hazırlanan membranların kimyasal yapısı FTIR analizi ile belirlenmiştir. Şekil 3, PVDF70-PVP30 membranının FTIR spektrumlarını göstermektedir. Membranlarda uzanan karbonile 1680  $\text{cm}^{-1}$ 'deki pikler atanmaktadır. Karakteristik  $-\text{CH}_2$ -deformasyon pikleri 1400  $\text{cm}^{-1}$ 'de ortaya çıkmaktadır. 760  $\text{cm}^{-1}$ 'ile 1190  $\text{cm}^{-1}$  arasındaki pikler,  $\text{CF}$  ve  $\text{CF}_2$  gerilmesine karşılık gelmektedir.



Şekil 3. PVDF70-PVP30 Membranının FTIR spektrumu

### 3.2.Şişme ve Filtrasyon Testi Sonuçları

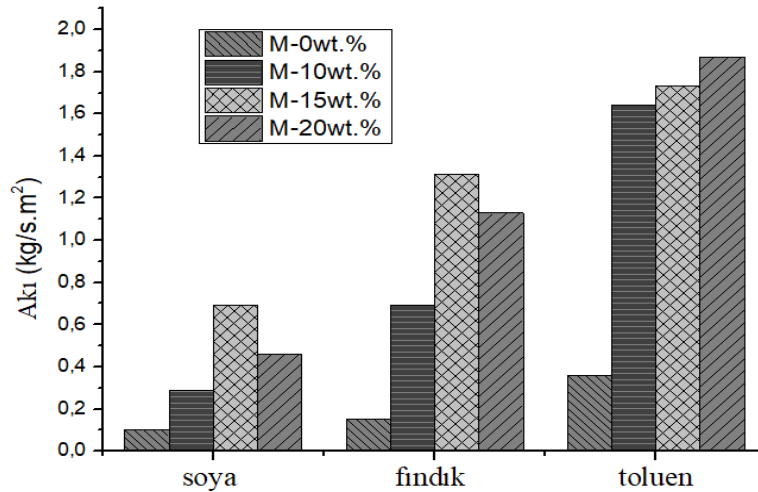
Şekil 4'te, Bentonit eklenmesinin şişme testi üzerindeki etkisi, PVDF oranı ağırlıkça % 70'de sabit tutulduğunda araştırılmıştır. Bentonit konsantrasyonu, toplam polimer ağırlığına göre, ağırlıkça % 0'dan ağırlıkça % 15'e değiştirilmiştir. Şekil 4'den, kil ilavesinin su içinde şişme testi üzerinde olumlu ve soya, fındık ve toluen sonuçları üzerinde ise olumsuz bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Polimerik yapının yağ şişirme kapasitesinin kilden daha yüksek olması nedeniyle, membrandaki Bentonit içeriği arttıkça şişme değerleri azalmıştır.



Şekil 4.Kil içeriğinin şişmeye etkisi

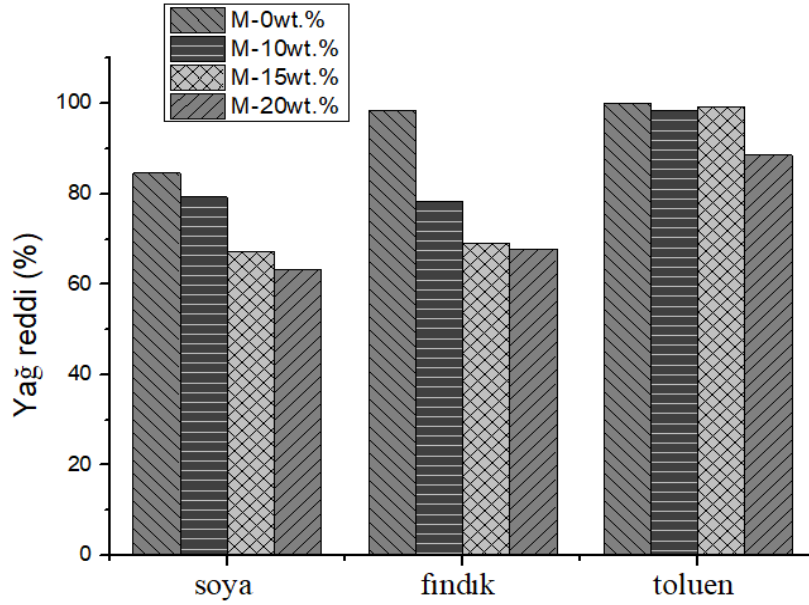
Şekil 5, Bentonit konsantrasyonunun akı üzerindeki etkisini göstermektedir. Bentonit artışıyla membranların akı değerlerinde de önemli bir artış görülmektedir. Kil miktarı ağırlıkça % 0'dan ağırlıkça % 15'e arttığında soya yağı-su akısı değeri 0,1016 kg / s.m<sup>2</sup>'den 0.693 kg/s.m<sup>2</sup>'ye, fındık yağı-su akısı 0.152 kg /s.m<sup>2</sup>'den 1,312 kg / s.m<sup>2</sup>'ye artmıştır. Bentonit miktarı ağırlıkça %20 olduğunda soya yağı ve fındık yağının akı değerlerinde azalma gözlenmiştir. Bentonit miktarı ağırlıkça % 0'dan ağırlıkça % 20'ye arttığında toluen-su akısı değeri 0.361 kg/s.m<sup>2</sup> 'den 1,732 kg/s.m<sup>2</sup> 'artmıştır. Bu, kilin süper hidrofilik karakterinden kaynaklanmaktadır. Bentonit, tetrahedral – oktahedral – tetrahedral tabakalardan oluşan paketlenmiş partiküllere sahiptir. Bu katmanlar, membranların negatif olarak yüklenmesinden sorumlu olan metal iyonlarını oluşturur. Bentonit, suya güçlü bir afinite gösterir ve malzemenin şişme karakterini artırır (Kumar vd., 2015 ve 2016). Bu özellik, membran ana malzemesi veya dolgu maddeleri olarak kullanıldığında su akışını artırabilir.

Şekil 6,Bentonitin yağ reddi sonuçları üzerindeki etkisini göstermektedir. Bentonit miktarının ağırlıkça %0'dan ağırlıkça %20'ye artmasıyla, soya yağı ve fındık yağının reddetme değerlerinde azalma gözlenmiştir.



Şekil 5Kil konsantrasyonunun akıya etkisi





Şekil 6. Kil konsantrasyonunun yağ reddine etkisi

Uçucu yağ türlerinden biri olan toluende, Bentonit miktarının ağırlıkça %0'dan ağırlıkça %20'ye artmasıyla diğer yağlara göre yağ reddinde daha az azalma gözlenmiştir. Bentonit suya ilgisi olan ve içeriğindeki mineraller dolayısıyla su ile şişen bir malzeme olmasına rağmen, yağlarla oluşturduğu fiziksel bağlar dolayısıyla yağ reddi değerleri nispeten azalmıştır. (Moazed ve vd. 2005; Sun ve Chen, 2013; Zheng vd., 2017). Akı ve yağ reddi sonuçlarına bakıldığında, kullanılan Bentonit kilinin su akısını tüm yağlarda en az beş katına çıkardığı görülmüştür. Özellikle toluen gibi uçucu organik bileşen ve yağ benzeri aromatik bileşenlerin seçici olarak ayrılması için akı ve yağ reddi değerlerinin yüksek olması önemlidir. Akı değerlerine bakıldığında toluen-su akısında Bentonit eklentisi ile belirgin bir artış olmuştur ve yağ reddinde önemli bir düşüş de gözlenmemiştir. Hatta %15 kil yüklü membran ile toluen reddi % 99'un üzerindedir. Dolayısıyla Bentonit katkılı membranların özellikle toluen gibi bileşenleri ayırmada hem yüksek verim hem de yüksek seçilim ile çalışacağı öngörülmektedir.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, PVDF-PVP temelli ve Bentonit katkılı kompozit gözenekli membranlar hazırlanmış, karakterize edilmiş ve model yağlı atıksulardan yağları ayırma performansı, şişme derecesi, akı ve yağ reddinin fonksiyonu olarak araştırılmıştır. Deneysel sonuçta, membranda kil oranı arttıkça, su akısının her koşulda arttığı, su şişme kapasitesinin de arttığı görülmüştür. Buna karşın soya ve findık yağında kil oranı arttıkça şişme ve yağ reddi değerleri azalmıştır. Toluene-su karışımında ise Bentonit katkısının ağırlıkla %15 optimum noktasında tutulduğunda, akının beş katından fazla artış gösterdiği, toluene reddinin de % 99.9 olarak kaldığı görülmüştür.

#### Teşekkür

Bu çalışma Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası 2019/70.

#### Kaynakça

- Amin, P.D., Bhanushali, V., Joshi, S. (2018). Role of Polyvinylpyrrolidone in Membrane Technologies, *International Journal of ChemTech Research*, 11, 247-259. doi: <http://dx.doi.org/10.20902/IJCTR.2018.110932>.
- Ang, W.L., Mohammad, A.W., Hilal, N., Leo, C.P. (2015). A review on the applicability of integrated/ hybrid membrane processes in water treatment and desalination plants, *Desalination* 363, 2-18. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2014.03.008>.
- Barron, M.G., (2012). Ecological impacts of the deepwater Horizon oil spill: implications for immunotoxicity. *Toxicol. Pathol.* 40, 315-320. doi: 10.1177 / 0192623311428474.
- Brody, T.M., Di Bianca, P., Krysa, J., (2010). Analysis of inland crude oil spill threats, vulnerabilities, and emergency response in the midwest United States, *Risk Anal.* 32, 1741-1749. doi: 0.1111 / j.1539-6924.2012.01813.x.
- Celikten, I., Mutlu, E., Solmaz, H. (2012). Variation of performance and emission characteristics of a diesel engine fueled with diesel, rapeseed oil and hazelnut oil methyl ester blend. *Renew Energy*, 48:122-6. doi: 10.1016 / j.renene.2012.04.040.

- Cui J, Zhou Z, Xie A, Meng M, Cui, Y, Liu S, Lu J, Zhou S, Yan Y, Dong H.(2019) Bio-inspired fabrication of superhydrophilicnanocomposite membrane based on surface modification of SiO<sub>2</sub> anchored by polydopamine towards effective oil-water emulsionsseparation. *Sep Purif Technol*, 209 (2019) 434–442. doi: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.03.054>.
- Doshi, B., Mika S., Simo K.,(2018). A review of bio-basedmaterials for oil spill treatment, *Water Research* 135, 262-277. doi:<https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.02.034>.
- Droste R.L., Gehr R.L., Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment, John Wiley & Sons, 2018.
- He, Z., Lyu, Z., Gu Q, Zhang, L., Wang, J. (2019), Ceramic-based membranes for water and wastewatertreatment, *Colloids andSurfaces A* 578, 123513. doi:<https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.05.074>.
- Hoslett, J., Massara, T.M., Malamis, S., Ahmad, D., Boogaert, I, Katsou, E., Ahmad, B., Ghazal, H., Simons, S., Wrobel, L.,Jouhara,H.(2018). Surface water filtration using granular media and membranes: A review, *Scienceof the Total Environment* 639,12681282. doi: 10.1016 / j.scitotenv.2018.05.247.
- Kang, G., Cao, Y. (2014). Application andmodification of poly(vinylidene fluoride)(PVDF) membranes – Areview, *Journal ofMembrane Science* 463, 145–165. doi:<https://doi.org/10.1016/j.memsci.2014.03.055>.
- Kumar, S., Guria, C., Mandal, A (2015). Synthesis, characterization and performance studies of polysulfone/bentonitenanoparticlesmixed-matrix ultra-filtration membranes using oil field produced water, *Sep Purif Technol.*, 150, 145-158. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2015.06.029>.
- Kumar, S., Mandal, A., Guria, C.(2016). Synthesis, characterization and performance studies of polysulfone andPolysulfone/polymer-graftedbentonite based ultrafiltration membranes for the efficient separation of oilfield oily wastewater, *Process Safety and Environmental Protection*, 102, 214-228. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2015.06.029>.
- Moazed, H., Viraraghavan, T., (2005) Removal of Oil from Water by Bentonite Organoclay, *Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management*, 9(2): 130-134. doi:10.1061/(ASCE)1090-025X(2005)9:2(130).
- Nthunya, L.N., Gutierrez, L., Lapeire, L., Verbeken. K., Zaouri, N., Nxumalo, E.N., Mamba, B.B., Verliefe, A.R., Mhlang, S.D.(2019) ,Fouling-resistant PVDF nanofibre membranes for the desalination of brackish waterin membrane distillation, *Sep Purif. Technol.* 228, 115793. doi: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.115793>.
- Sun, T., Chen, D.D.L.(2013). Coagulation of Oil in Water Using Sawdust and Bentonite and the Formation of a Floating CoagulatedMaterial, *J. Environ. Eng.* 139, 1470-1481. doi: 10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000725.
- Zheng, R. Gao, H. Ren, Z. Cen, D. Chen, Z.(2017). Preparation of activated bentonite and its adsorption behavior on oil-soluble greenpigment, *Physicochem.Probl.Miner.Process.* 53, 829–845. doi: <http://dx.doi.org/10.5277/ppmp170213>.



# İçme Suyu Kaynaklarındaki Trihalometan Oluşumunun İncelenmesi

Nizamettin Özdoğan<sup>1\*</sup>, Kadir Özdemir<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5520-5124)

<sup>2</sup> Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1464-7078)

(İlk Geliş Tarihi 22 Ekim 2019 ve Kabul Tarihi 15 Kasım 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.635926)

**ATIF/REFERENCE:** Özdoğan, N. & Özdemir, K. (2019). İçme Suyu Kaynaklarındaki Trihalometan Oluşumunun İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 776-785.

## Öz

İçme suyu kaynakları doğal organik maddeler (DOM) içermektedir. Suda bulunan bu organik maddelerin dezenfeksiyon sürecinde klorla reaksiyona girmesi sonucu Trihalometan (THM) olarak adlandırılan klorlu yan ürünler oluşmaktadır. THM'ler kanserojen etkiye sahip bileşikler olmasından dolayı insan ve çevre sağlığı açısından son derece sakıncalıdır. Bu çalışmada, doğal organik madde içeren içme suyu kaynaklarının klorlanması sonucu meydana gelen toplam trihalometan oluşum potansiyeli (THMOP) ve trihalometan (THM) bileşiklerinin dağılımına etki eden başlıca faktörler incelenmiştir. Çalışma alanı ve içme suyu kaynağı olarak Terkos Gölü (İstanbul), Büyükçekmece Gölü (İstanbul), Ulutan Barajı (Zonguldak) seçilmiştir. Alınan ham su örneklerinde, doğal organik madde miktarı, Toplam Organik Karbon (TOK), 254 nm'de UV absorban (UV<sub>254</sub>) ve spesifik UV absorban (SUVA) parametrelerinin analizleri laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. En yüksek SUVA değerine sahip Terkos gölü ham sularında bulunan DOM'lerin organik karbonu, hidrofobik özellik gösteren fraksiyonlu bileşiklerden meydana gelirken, daha düşük değere sahip Büyükçekmece gölü ve Ulutan Barajı ham sularında bulunan DOM'in ise daha çok hidrofilik özellik gösteren organiklerden meydana geldiği tespit edilmiştir. Diğer yandan söz konusu içme suyu kaynaklarından alınan ham su örnekleri belirli Cl<sub>2</sub>/TOK oranlarına göre klorlanarak 2-168 saatlik reaksiyon süresine maruz bırakılmış ve sonunda meydana gelen THM miktarlarının analizleri EPA-551.1 metodunda yer alan sıvı-sıvı ekstraksiyon yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. En yüksek THM konsantrasyonları (en yüksek SUVA değerine sahip organik karbonu hidrofobik yapıda olan) Terkos ham sularının klorlanması sonucu elde edilmiştir. Bu çalışmada ayrıca farklı pH, klor dozu ve reaksiyon süresinin klorlama sırasında meydana getirdiği THM ve THM türlerinin dağılımı üzerindeki etkileri de gösterilmiştir. Özellikle alkali pH'larda daha yüksek THM oluşumları tespit edilmiş olup, aynı şekilde daha yüksek klor dozlarında ve bekleme sürelerinde daha yüksek THM oluşumlarının gözlenmesi bu çalışmanın elde edilen önemli sonuçlarından biri olmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Trihalometanlar, Klorlama, İçme suyu kaynakları, Doğal organik madde

## Investigation of Trihalomethane Formation in Drinking Water Resources

### Abstract

Drinking water sources contain natural organic materials (NOM). The reaction of these organic substances with chlorine during disinfection process produces chlorinated by-products called trihalomethane (THM). THM's are extremely dangerous for human and environmental health because they are carcinogenic compounds. In this study, we investigated the potential of total formation of Trihalometan (THM) due to chlorination of drinking water resources with natural organic matters (NOM), and the main factors affecting the distribution of Trihalomethane (THM) compounds. Terkos Lake (Istanbul), Büyükçekmece Lake (Istanbul) and Ulutan Dam

\*Sorumlu Yazar: Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye, ORCID: 0000-0001-5520-5124, [nozdogan@beun.edu.tr](mailto:nozdogan@beun.edu.tr)

(Zonguldak) were selected as the study area and drinking water source. Along with parameters of Total Organic Carbon (TOC), analysis of UV absorbed ( $UV_{254}$ ) and specific UV absorbance (SUVA) parameters at 254 nm, the amount and analysis of natural organic matter in raw water samples were carried out in laboratory. In the raw waters of Terkos Lake, which has the highest SUVA value, the DOM was found to be mostly composed of organics with hydrophilic properties. On the other hand, raw water samples taken from these drinking water sources were chlorinated according to certain  $Cl_2$  / TOC ratios and subjected to a reaction time of 2-168 hours. The evaluation of output of this reaction as the THM amounts were carried out according to the liquid-liquid extraction method of EPA-551.1 method. The highest THM concentrations were obtained by chlorination of Terkos raw waters (hydrophobic organic carbon with the highest SUVA value). In this study, the effects of different PH, chlorine dose and reaction time on the distribution of THM and THM species produced during chlorination were also shown. In particular, higher THM formations were detected at alkaline pH, and higher THM formations at higher chlorine doses and retention times were one of the important results of this study.

**Keywords:** Trihalomethanes, Chlorination, Drinking water resources, Natural organic matter

## 1.Giriş

Su ortamında bulunan doğal organik maddeler, bitki ve hayvan atıklarının mikrobiyal reaksiyonları sonucu çeşitli organik bileşiklerden meydana gelen karmaşık yapılardır (Croue, 2004;Gang, 2001). DOM'nin içeriğini oluşturan organik yapılar yağmur, sel, kar ve kuraklık gibi mevsimsel faktörlere bağlı olarak farklılık gösterebilmektedirler. Bu etmenler DOM'nin yapısı ile beraber su temini ve kalitesinde önemli değişikliklere yol açmaktadırlar (Hwang ve ark, 2000; Barret ve ark, 2000; Summers & Roberts, 1988; Lei & Wania, 2004; Sharp ve ark, 2006). İçme suyu kaynaklarında bulunan DOM'in karakterizasyonu; Çözünmüş Organik Karbon (ÇOK), 254 nm dalga boyundaki UV absorbans ( $UV_{254}$ ) ve DOM'in hidrofobikliğinin bir göstergesi olan Spesifik UV Absorbans (SUVA) gibi DOM'yi temsil eden organik parametrelere göre gerçekleşmektedir (Sharp ve ark, 2006; Jacangelo ve ark, 1995; Kitis ve ark, 2001). Özellikle DOM içeren yüzeysel sulara yüksek SUVA değerleri ( $SUVA > 3$ ), DOM'nin içeriğinin daha çok fenol ve karboksil gibi aktif fonksiyonel gruplara sahip yüksek moleküler ağırlıktaki hidrofobik organiklerden meydana geldiğini gösterir. Düşük SUVA değerleri ( $SUVA < 3$ ) ise alifatik organikler, karboksilik asit ve aminoasitler gibi hidrofilik yapıların daha yüksek oranda bulunduğunu göstermektedir (Kitis ve ark, 2002; Her ve ark, 2008; Lefebvre ve ark, 2006; Owen ve ark, 1995; Vilge ve ark, 1999; Edzwald ve ark, 1985). Diğer yandan yüzeysel su kaynaklarında bulunan DOM, tat, koku, renk ve bakteriyel üreme gibi problemlere neden olmaktadır. Ayrıca, DOM içeren sulara bulunan patojen mikroorganizmaların giderilmesi için yapılan klorlama işlemi sonucunda (denklem 1), insan sağlığını olumsuz etkileyen trihalometanlar (THM) ve haloasetik asit (HAA) gibi dezenfeksiyon yan ürünleri (DYÜ) meydana gelmektedir (Bellar ve ark, 1974; Elshorbagy ve ark, 2000; Rook, 1974; Rodriguez & Serodes, 2001; Uyak ve ark, 2005; Sadiq & Rodriguez, 2004).



Bu konu ile ilgili yapılan çalışmalarda, bu klorlu yan ürünlerin insanlarda kanser, böbrek yetmezliği, bilinç kaybı ve kardiyolojik hastalıklara neden olduğu ortaya koymuştur (Ivancev ve ark, 2002; Dodds ve ark, 1999; Cedergren ve ark, 2002; Yang ve ark, 2000). DYÜ'nin insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinden dolayı birçok ülkede içme suyu kalite standartları gözden geçirilerek oluşan yan ürünler için yeni kısıtlamalar getirilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri Çevre koruma Örgütü (USEPA) tarafından, HAA ve 4 adet THM türü (Kloroform, bromodiklorometan, dibromoklorometan, ve bromoform) için maksimum kirletici konsantrasyonu sırası ile 60 ve 80  $\mu\text{g/L}$  olarak belirlenmiştir [Pontius, 1993; USEPA, 2003a; USEPA, 2003b). Bunun yanında aynı klorlu yan ürünler için limit değer Avrupa Birliği (EC) içme suyu standartlarında tarafından 100  $\mu\text{g/L}$  olarak uygulanmaktadır (EC, 1998). Ülkemizde de TSE-266 içme kalite standartlarında THM limit değeri 100  $\mu\text{g/L}$ 'dir (TSE-266, 2012).

Yüzeysel sulara DOM'nin hidrofobik ve hidrofilik fraksiyonlarının temsilinde kullanılan SUVA ve ÇOK gibi organik parametrelerin yanında diğer en önemli gösterge Dezenfeksiyon Yan Ürünü Oluşum Potansiyelinin (DYÜOP) tespit edilmesidir. Başka bir deyişle, klorlama sonucu oluşan en önemli temel DYÜ bileşeni THM olduğundan klorlu bir ham suda THMOP ölçülmesi su kalitesi açısından oldukça önemlidir (Elshorbagy ve ark, 2000; Croue ve ark, 2000). DOM içeren bir içme suyu kaynağının THMOP, normal koşullar altında yüksek klor dozlarında klorlanan su örneklerinde 25°C de 7 gün bekletildikten sonra ölçülen THM konsantrasyonudur [Ozdemir ve ark, 2013]. Diğer yandan mevsimsel olarak su içerisindeki DOM içeriğinin değişimi klorlanan bir su numunesinde meydana gelecek olan THM miktarını da önemli ölçüde etkilemektedir. Dolayısıyla içme suyu kaynağının TOK konsantrasyonu,  $UV_{254}$ , SUVA, bromür konsantrasyonu ve pH seviyeleri klorlama sırasında oluşacak olan kloroform (KFM), dibromoklorometan (DBKFM), bromodiklorometan (BDKFM) ve bromoform (BFM) gibi THM bileşenlerinin miktarlarını etkileyen önemli faktörlerdir. Bu çalışmada, DOM içeren içme suyu kaynaklarının klorlanması sonucu meydana gelen THM konsantrasyonları ve THM miktarlarının dağılımı üzerinde etkili olan faktörler araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar için gerekli ham su numuneleri, sırasıyla, İstanbul şehrine içme suyu tedariki için günde ortalama 2 milyon  $\text{m}^3$  su temini sağlayan Terkos ve Büyükçekmece gölleri ile Zonguldak iline 34 bin  $\text{m}^3$  su sağlayan Ulutan Barajı suyundan alınmıştır. Bu çalışmayı özgün kılan en önemli özelliklerden biri İstanbul'un yanı sıra ilk defa Batı Karadeniz bölgesinde (Zonguldak-Ulutan Barajı) THM oluşumu ve analiziyle ilgili gerçekleştirilmiş bir çalışma olmasıdır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Su numunelerinin toplanması

Bu çalışmada, ham su kaynağı İstanbul ili Büyükçekmece Gölü, Terkos Gölü ve Zonguldak ili Ulutan Barajı seçilmiştir. Söz konusu ham suların numune alma işlemleri Yer Üstü Suları, Yer Altı Suları ve Sedimentten Numune Alma ve Biyolojik Örnekleme Tebliği Yönetmeliği'ne uygun olarak sırasıyla Terkos ham suları için Kağıthane içme suyu arıtma tesisleri, Büyükçekmece ham suları için Büyükçekmece içme suyu arıtma tesisleri ve Ulutan Barajı ham suları için Ulutan Barajı içme suyu arıtma tesislerinden alınmıştır. Her üç tesiste de ham su numuneleri, yaklaşık 4 m derinliğinde dikdörtgen biçiminde iki kapaklı bir ham su giriş sistemi ile kaba ızgaralar ve 5 mm çapındaki eleklerin bulunduğu bölümlerin çıkışlarından tekil numune olarak 20 L'lik plastik numune kaplarına alınmıştır.

Tekil numune olarak toplanan ham su örnekleriyle ilgili su kalite analizleri Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Merkez Laboratuvarında yapılmıştır. Alınan ham su numuneleri membran filtrelerden (0.45 µm) geçirilerek herhangi bir mikrobiyal aktiviteye maruz kalmaması için deneysel çalışma süresince +4 °C'de buzdolabında muhafaza edilmiştir. Çizelge 1'de Terkos, Büyükçekmece ve Ulutan barajı ham su örneklerine ait su kalite parametre değerleri verilmiştir. Terkos ve Büyükçekmece gölü ham su numunelerinde tespit edilen değerler literatürle benzerlik göstermiştir (Uyak ve ark, 2008).

**Çizelge 1.** Terkos ve Büyükçekmece Gölü ile Ulutan Barajı ham suları su kalite parametre değerleri

Parametre	Birim	Terkos	Büyükçekmece	Ulutan Barajı
		Ham su	Ham su	Ham su
		*Ort. **Std	*Ort. **Std	*Ort. **Std
pH	-	7.85 ± 0.16	8.05 ± 0.14	7.21 ± 0.13
Bulanıklık	NTU	4.40 ± 0.45	5.62 ± 0.32	3.20 ± 0.37
İletkenlik	µS/cm	432 ± 14.81	513 ± 15.87	336 ± 13.2
Toplam sertlik	mgCaCO <sub>3</sub> /L	126 ± 7.24	166 ± 8.34	89 ± 6.52
Alkalinite	mgCaCO <sub>3</sub> /L	105 ± 6.36	143 ± 8.02	73 ± 6.74
Sıcaklık	°C	13.0 ± 2.4	10.0 ± 2.11	14 ± 2.33
Br <sup>-</sup>	mg/L	0.09 ± 0.02	0.14 ± 0.02	0.06 ± 0.01
TOK	mg/L	4.81 ± 0.27	4.05 ± 0.24	3.75 ± 0.21
UV <sub>254</sub>	cm <sup>-1</sup>	0.15 ± 0.01	0.10 ± 0.008	0.08 ± 0.007
SUVA	L/mg.m	3.12 ± 0.014	2.47 ± 0.01	2.13 ± 0.008
THMOP	µg/L	350.04 ± 27.3	284.1 ± 25.03	204.6 ± 24.2

\*Ort: Ortalama değer

\*\*Std: Standard sapma

### 2.2. Klorlama metodu

Terkos, Büyükçekmece ve Ulutan Barajı ham su örnekleri membran filtreden (0.45 µm) geçirildikten sonra fosfat tampon çözeltisiyle pH yediye (7) ayarlanmıştır. Klorlama sürecinde, 5 mg/mL'lik stok sodyum hipoklorit (NaOCl) çözeltisi Standart Metodlar 5710 B'ye göre hazırlanmış ve farklı konsantrasyonlardaki klor 100 mL'lik viallere aktarılmıştır. 20 °C'de karanlık bir ortamda THM oluşumunu tespit etmek için 2, 4, 6, 12, 24, 48, 96 ve 168 saat reaksiyon süresinde bekletilmiştir. Diğer yandan klorlu numunelerde pH etkisini gözlemlemek için su numunelerinin klorlamadan önce pH değerleri 0.1 N HCl ve NaOH olarak hazırlanmış stok çözeltilerden belirli miktarlar kullanılarak pH=4, 5, 6, 7, 8 ve 9 olarak ayarlanmıştır. İnkübasyon süresinin sonunda bakiye kloru belirlemek için hazırlanan N,N-dietil-P-fenilindiamin (DPD) ve fosfat tampon çözeltisi numunelere ilave edilmiş ve demir amonyun sülfat çözeltisiyle titrasyon sağlanmıştır (Standart Metodlar 4500-F).

### 2.3. THMOP metodu

THMOP deneyleri Standart Metodlar 5710 B'e göre gerçekleştirilmiştir. Bu deneyin amacı, içme suyu kaynaklarında oluşabilecek maksimum THM konsantrasyonunu tespit etmektir. Bu çerçevede, klorlama işleminden önce fosfat tamponuyla (2.5 mL) pH 7'e ayarlanan su numunelerine, Cl<sub>2</sub>/TOK oranı 3.0 olacak şekilde klor ilavesi yapılmış ve 25 °C'de 7 gün inkübasyona bırakılmıştır. Klorlama işlemi 100 mL'lik teflon kapaklı cam viallerde gerçekleştirilmiştir. 7 günlük periyodun sonunda numunelerdeki bakiye klor miktarları ölçülerek numuneler THMOP ölçümü yapılmak üzere +4°C de buzdolabında saklanmıştır.

### 2.4. Analiz Metodları

Terkos, Büyükçekmece ve Ulutan Barajından alınan su numunelerinde bulunan çözünmüş organik karbonu (ÇOK) ölçmek için Standart Metotlarda belirtilen 5310 B numaralı yakma (yüksek sıcaklıkta) metodu kullanılmıştır (SM, 2005). ÇOK analizleri Shimadzu TOC



5000–A Analiz cihazı kullanılarak yapılmıştır. Bu deneyin amacı, su numunelerinde bulunan organik karbonun yakılarak CO<sub>2</sub> gazına dönüştürülmesi ve bu gazın nondispersif infrared analizörü ile ölçülmesi esasına dayanmaktadır.

UV<sub>254</sub> absorban değeri suyun içerisinde bulunan aromatik kromoforların derişimini gösteren bir parametredir. Su numunelerinin UV<sub>254</sub> absorban ölçümleri, 1 cm'lik quartz küvetler kullanılarak 254 nm'de Standart Metotlar 5910 B'de belirtilen esaslara göre Shimadzu 1608 UV/Vis spektrofotometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir (SM, 2005). Ölçümler sırasında su numunelerinde girişime neden olabilecek safsızlıkları (nitrat, nitrit, demir ve bromür gibi) ortadan kaldırmak için 0.45 µm membran filtre kullanılmıştır.

Su numunelerinde ölçülen SUVA değeri, UV<sub>254</sub> absorban değerinin TOK değerine bölünmesi ile hesaplanır. SUVA değerinin matematiksel hesaplaması aşağıda verilmiştir.

$$\text{SUVA (L/mg.m)} = 100 * [\text{UV}_{254} (\text{cm}^{-1}) / \text{TOK (mg/L)}] \quad (2)$$

THM analizleri (CHCl<sub>3</sub>, CHCl<sub>2</sub>Br, CHBr<sub>2</sub>Cl ve CHBr<sub>3</sub>) EPA metot 551.1 sıvı–sıvı ekstraksiyon yöntemine göre Hawlett Packard (HP) marka 7890 model gaz kromatograf (GC)/ ECD cihazı kullanılarak yapılmıştır. Mikro elektron yakalayıcı detektöre (µECD) sahip GC'ye enjekte edilen klorlu örnekler kapiler kolona (DB-1, 30m\*0.32mm I.D.\*1.0 µm) helyum gazı kullanılarak taşınımları gerçekleştirilmiştir. Bu metodun minimum tayin limiti 0.1 µg/L'dir. Kalibrasyon standartları AGILENT marka THM standardı (lot no: 50429ME, ABD) kullanılarak hazırlanmıştır. Kalibrasyon standartları aralığı 10-100 µg/L arasında olup klorlu su numunelerinin THM konsantrasyonları, kalibrasyon eğrileri kullanılarak hesaplanmıştır. Bromür konsantrasyonları analizi ise EPA Method 300.0 inorganik anyonların tayini için kullanılan iyon kromatografi yöntemine göre ICS-3000 iyon kromatografi cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

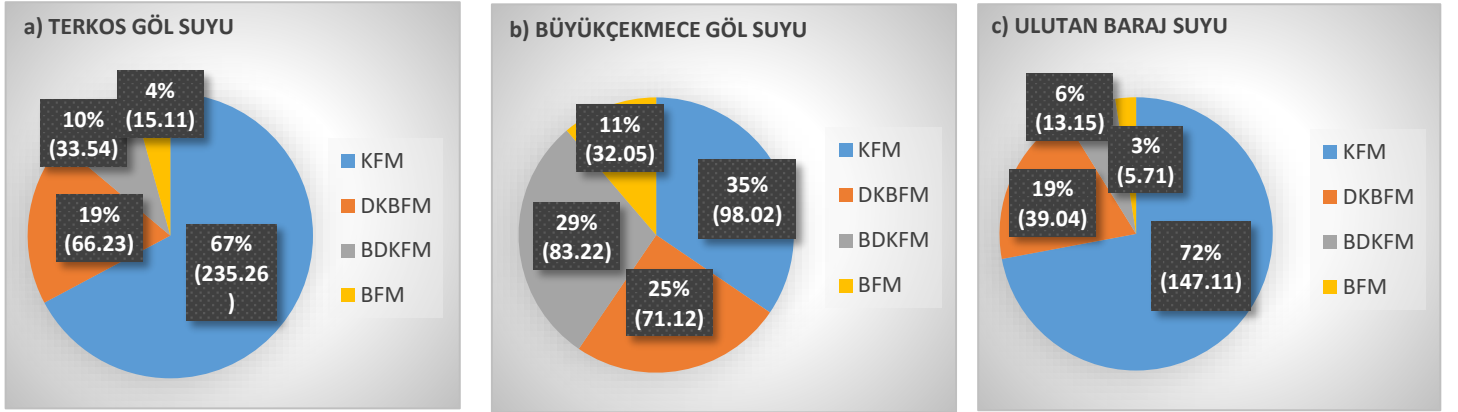
### 3.Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Tablo 1'de Terkos, Ömerli ve Ulutan Barajı ham su kalite parametreleri ile birlikte her bir içme suyu kaynağında bulunan DOM'in karakterize edilmesini sağlayan TOK, UV<sub>254</sub> ve SUVA parametrelerinin değerleri verilmiştir. Bu sonuçlara göre DOM'nin yapısını oluşturan aromatik ve aromatik olmayan organik moleküllerin derişimini gösteren TOK değerleri Terkos ve Büyükçekmece Gölü ile Ulutan Barajı su örneklerinde sırası ile; 4.85 mg/L, 4.05 mg/L ve 3.75 mg/L olarak bulunmuştur. DOM içinde sadece UV absorplayan aromatik kromoforların konsantrasyonunu gösteren UV<sub>254</sub> değeri Terkos Gölü ham sularında 0.15 cm<sup>-1</sup> gözlenirken, Büyükçekmece Gölü ham su örneklerinde 0.10 cm<sup>-1</sup> ve Ulutan Barajı ham su örneklerinde ise 0.08 cm<sup>-1</sup> olduğu tespit edilmiştir. Diğer yandan en yüksek SUVA değeri ise sırasıyla Terkos su örneklerinde 3.12 L/mg.m, Büyükçekmece su örneklerinde 2.47 L/mg.m ve Ulutan Barajı su örneklerinde ise 2.13 L/mg.m olarak gözlenmiştir. SUVA değeri, yüzeysel sularda bulunan DOM'in yapısı ve klorlama sırasında meydana gelen THM gibi DYÜ'nin oluşumunun tahmininde kullanılan en önemli organik parametredir (Reckhow ve ark, 1990; Liang & Singer, 2003). SUVA değeri > 3 L/mg.m hidrofobik yapılu organik maddeleri, SUVA <3 L/mg.m ise hidrofilik yapıya sahip organik maddelerin varlığını göstermektedir (Edzwald ve ark, 1985). Bu sonuçlar en yüksek SUVA değerine sahip Terkos ham sularında bulunan DOM'in daha çok moleküler ağırlığı yüksek hidrofobik ve aromatik içeriği yüksek organik bileşiklerden meydana geldiğini, Büyükçekmece ve Ulutan Baraj suyunda mevcut DOM'in yapısında ise protein, aminoasit ve karbonhidratlar gibi hidrofilik organiklerin daha fazla miktarda bulunduğunu ortaya koymaktadır. Literatürde, SUVA değeri, yüksek moleküler ağırlığa sahip (hüyük maddeler gibi) organik maddelerin hidrofobite ve aromatik içeriğinin tespitinde kullanılan önemli bir parametredir (Edzwald & Van Benschoten, 1990; Yetis ve ark, 2007).

Bununla beraber her bir su kaynağından alınan su örneklerinin klorlanması sırasında en yüksek THMOP konsantrasyonu (350.04 µg/L) SUVA değeri en yüksek olan Terkos Göl suyu örneklerinde görülmüştür. Diğer yandan en düşük THMOP konsantrasyonu (204.56 µg/L) ise SUVA değeri en düşük olan Ulutan Baraj suyu örneklerinde görülmüştür. Bu sonuç aynı zamanda SUVA ile klorlama işlemi sırasında meydana gelen THM oluşumu arasında kuvvetli bir ilişki olduğunu göstermektedir. Başka bir deyişle, organik karbonu hidrofobik yapıda olan su kaynaklarının klorlanması sırasında hidrofilik organiklere göre daha yüksek miktarda THM meydana gelmektedir. Konu ile ilgili olarak Roccaro ve ark (2008) tarafından İtalya'da Ancipa ve Potamac yüzeysel su kaynaklarında yapılan benzer bir çalışmada SUVA >3'den büyük olan hidrofobik fraksiyonlu organiklerin klorlanması sonucunda yüksek miktarlarda THM oluşumu gözlenirken TTHM–SUVA arasında yüksek dereceli (R<sup>2</sup> = 0.83) olan lineer korelasyonlar bulunmuştur.

### 3.1. İçme Suyu kaynaklarında THM türlerinin dağılımı

Şekil 1 de içme suyu kaynaklarının klorlanması sonucu 168 saatlik bekleme süresi sonucunda meydana gelen THM türlerinin dağılımı gösterilmiştir.



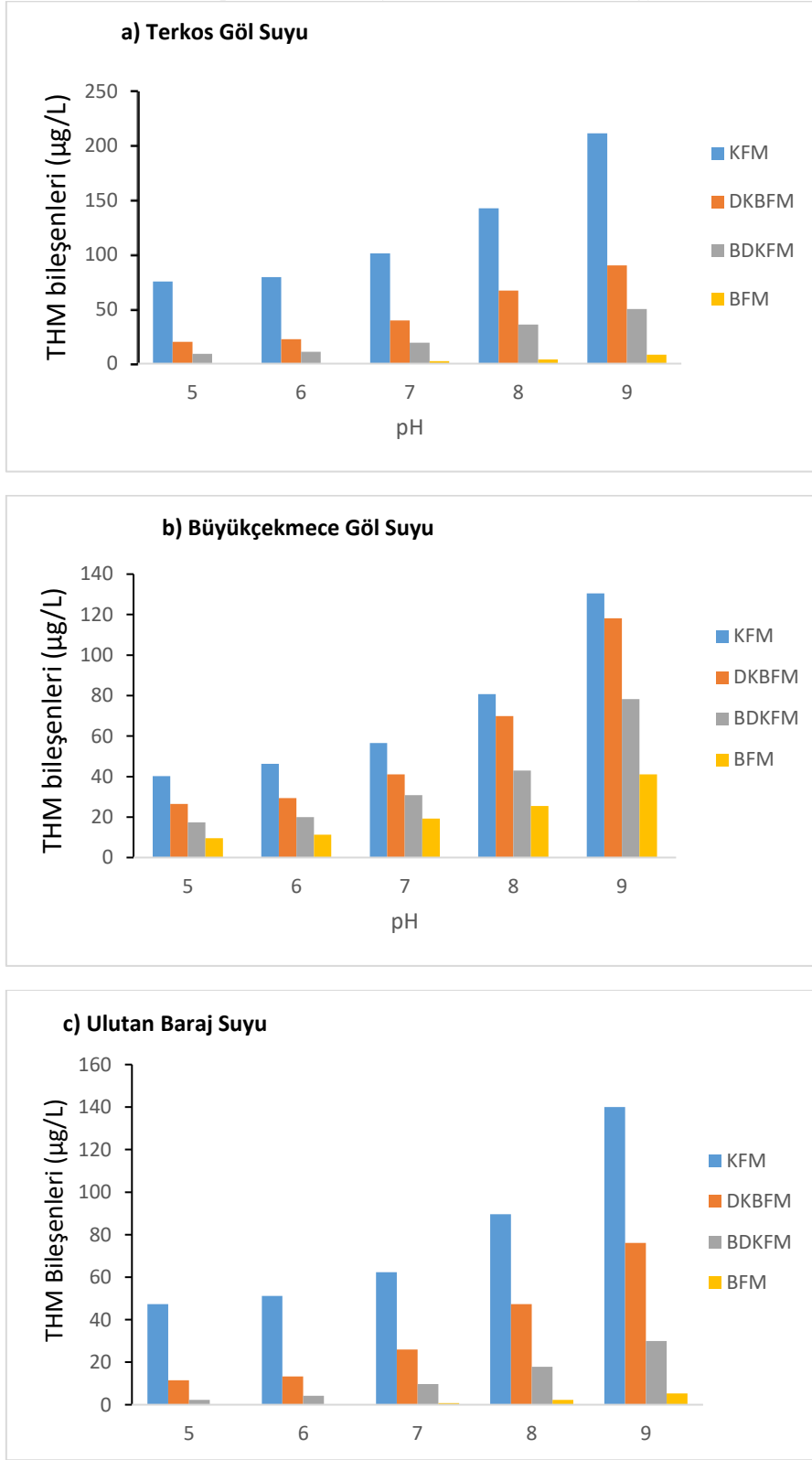
**Şekil 1.** THM türlerinin dağılımı (a) Terkos Gölü, (b) Büyükçekmece Gölü ve (c) Ulutan Barajı; (Klor dozu 10 mg/L, reaksiyon süresi 168 saat).

Buna göre Terkos, Büyükçekmece Göl suyu örnekleri ve Ulutan Barajı ham su örneklerinin klorlanması sonucunda meydana gelen THM türleri arasında en baskın türün KFM olduğu gözlemlenmiştir. Başka bir ifadeyle, Terkos Gölü ve Ulutan barajı ham su örneklerinde 168 saatlik bekleme süresi sonunda oluşan THMOP'nin büyük bir kısmını (toplam THM miktarının %65 ve %72'si) KFM oluştururken, diğer kısmını farklı oranlarda sırasıyla DKBFM, BDKFM ve BFM bileşikleri oluşturmaktadır. Bununla birlikte, maksimum KFM konsantrasyonu 235.26 µg/L ile klorlu Terkos Ham su örneklerinde ölçülürken, sırası ile en yüksek DKBFM (71,12 µg/L), BDKFM (83.22 µg/L) ve BFM (32.05 µg/L) konsantrasyonları klorlu Büyükçekmece ham su örneklerinde analiz edilmiştir. Bunun yanında en düşük bromürlü THM türleri konsantrasyonu, klorlu içme suyu kaynakları arasında 204 µg/L THMOP konsantrasyonuna sahip olan klorlu Ulutan Baraj su örneklerinde tespit edilmiştir.

Diğer yandan, klorlanmış Büyükçekmece ham su örneklerinde meydana gelen THM türleri klorlu Terkos ve Ulutan Baraj su örneklerinde görülen durumdan biraz farklılık göstermektedir (Şekil 1). Diğer içme suyu kaynaklarına oranla Büyükçekmece ham suyunda meydana gelen THMOP'nin büyük kısmını bromürlü türler oluşturmaktadır. KFM, THMOP'nin yaklaşık %35'ini temsil ederken, geri kalan kısmı sırasıyla BDKFM (%30), DKBFM (%24) ve BFM (%13)'den oluşturmaktadır. Literatürde çalışmamızın sonuçlarını destekleyen konu ile ilgili olarak, Uyak ve ark. (2007) ile Uyak ve ark. (2008) tarafından İstanbul da ki içme suyu kaynaklarında yapılan çalışmalarda, Büyükçekmece Göl suyunda bromürlü türlerin (diğer üç türe göre daha yüksek oranda kanser oluşturma potansiyeline sahip BDKFM bileşiği) daha fazla oranda tespit edildiği ortaya konmuştur. Bu sonucun en önemli nedenlerinden biri Marmara Denizine çok yakın olan Büyükçekmece Gölüne deniz suyu girişinin daha fazla olması dolayısıyla bromür seviyesinin (Çizelge 1) Terkos ve Ulutan Baraj suyundan daha yüksek tespit edilmesi olarak açıklanabilmektedir. Benzer sonuçlar daha önceki yapılan çalışmalarda da ortaya konulmuştur (Ozdemir ve ark, 2014). Diğer yandan bu çalışmanın diğer önemli bir sonucu ise Br<sup>-</sup> iyonunun klorla oksidasyonu sonucunda meydana gelen hipobromonöz asitin (HOBr), Hipokloröz asite (HOCl) kıyasla organik maddelerle daha hızlı ve aktif bir şekilde reaksiyona girdiğini göstermektedir. Bundan dolayı Br<sup>-</sup> konsantrasyonu yüksek olan Büyükçekmece Gölü ham sularının klorlanması sonucunda KFM'ye oranla daha fazla oranda bromürlü THM bileşikleri meydana geldiği gözlemlenmiştir.

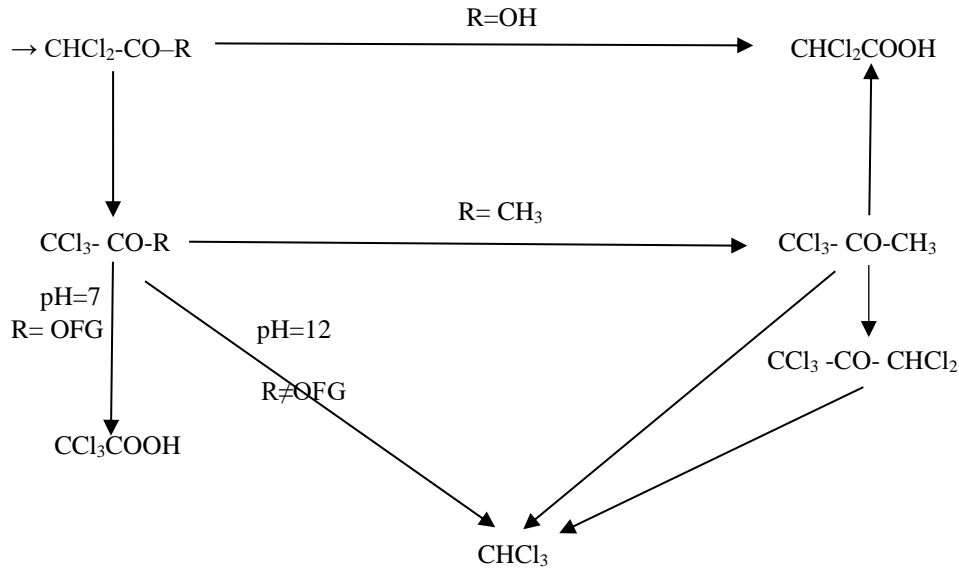
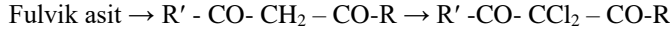
### 3.2. THM oluşumu üzerinde, pH, Klor dozu ve Klor temas süresinin etkileri

Çözeltilerin pH seviyesi klorlama süresince meydana gelen DYÜ'nin, tür ve miktarları üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır (Ozdemir ve ark, 2014). Bu çalışmada, çalışılan üç içme suyu kaynağı için de; en yüksek THM miktarlarının en yüksek pH değerlerinde meydana geldiği gözlemlenmiştir. Şekil 2' de de görüldüğü üzere farklı pH değerlerinden klorlanmış Terkos, Büyükçekmece ve Ulutan Baraj suyu örneklerinde en yüksek KFM konsantrasyonunun pH 4 ve pH 6 gibi asidik pH'lardan ziyade pH 9 gibi bazik pH değerlerinde meydana geldiği tespit edilmiştir.



**Şekil.2.** Kloranlamış (a) Terkos Gölü suyu, (b) Büyükçekmece Gölü suyu, (c) Ulutan Baraj suyu numunelerinde THM bileşiklerinin pH ile değişimi (Klor dozu 10 mg/L, reaksiyon süresi 168 saat).

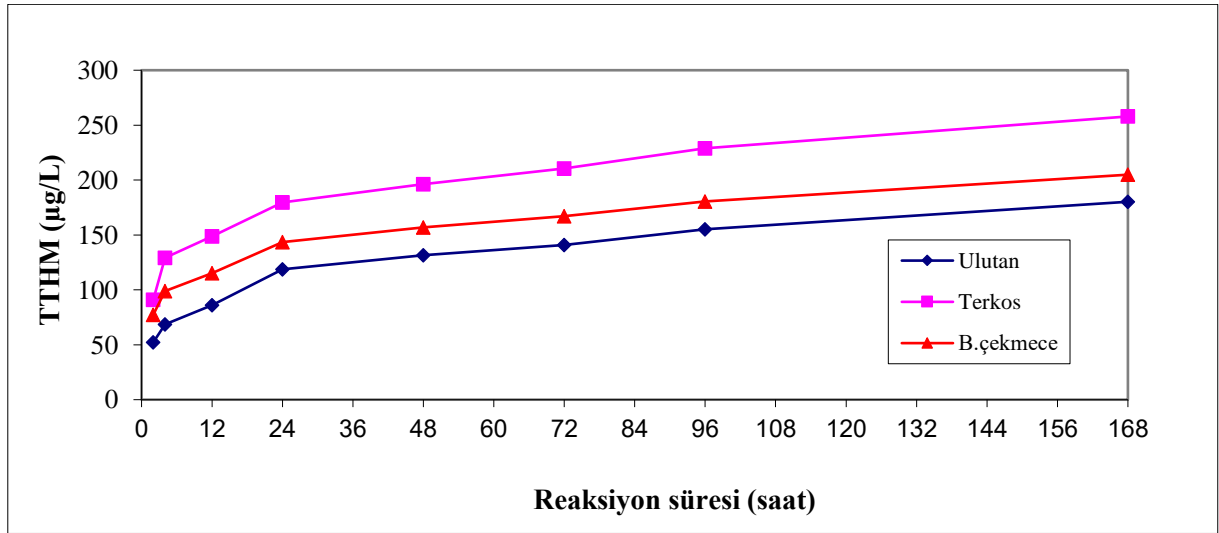
Bununla birlikte, benzer eğilimin diğer THM türlerinde de bazik ortamda en yüksek konsantrasyonlara sahip olduğu gözlenmiştir. Başka bir ifadeyle, pH değeri yükseldikçe DKBFM, BDKFM ve BFM konsantrasyonlarının da belirli miktarlarda artış olmaktadır. Bu sonuç, aynı zamanda Reckhow and Singer (1985) tarafından yapılan çalışmalarda pH ve DYÜ oluşumu ile ilgili bir etkileşim mekanizması olduğunu göstermiştir (Şekil 3).



**Şekil 3.** Kloroform'un ( $\text{CHCl}_3$ ) oluşumunu sağlayan fulvik asitin klorlanma mekanizması. OFG: Oksitlenebilir fonksiyonel grup

Özellikle alkali koşullarda  $\text{OH}^-$  iyonu ile organik karbon arasında meydana gelen hidroliz reaksiyonunun THM oluşumu üzerinde önemli bir etkisi olduğu ve bundan dolayı daha yüksek THM oluştuğu ortaya konulmuştur. Diğer yandan bu konu ile ilgili yapılan diğer araştırmalarda, alkali şartlarda DOM bileşikleriyle klor arasında meydana gelen baz-kataliz gibi yer değiştirme reaksiyonlarının DOM-klor arasındaki oksidasyon reaksiyonlarından daha hızlı meydana geldiğini dolayısıyla özellikle pH 8 ve pH 9 gibi değerlerde daha yüksek miktarlarda KFM oluştuğunu göstermiştir (Reckhow ve ark, 1990; Liang & ve Singer, 2003). Bu bulgular aynı zamanda bu çalışmada edilen sonuçları doğrulamaktadır.

Klor dozu ve reaksiyon süresi DYÜ oluşumu üzerinde önemli bir rol oynamaktadır (Ozdemir ve ark, 2014; Randtke ve ark, 1994). Şekil 4'de klorlanmış Terkos, Büyükçekmece ve Ulutan Barajı ham sularında meydana gelen TTHM konsantrasyonunun reaksiyon sürelerine göre değişimi görülmektedir.



**Şekil 4.** Terkos, Büyükçekmece ve Ulutan Barajı ham su örneklerinde farklı reaksiyon sürelerinde oluşan TTHM konsantrasyonları (pH 7,  $\text{Cl}_2 = 10 \text{ mg/L}$ ,  $T=20^\circ\text{C}$  ve  $t = 2-168$  saat)

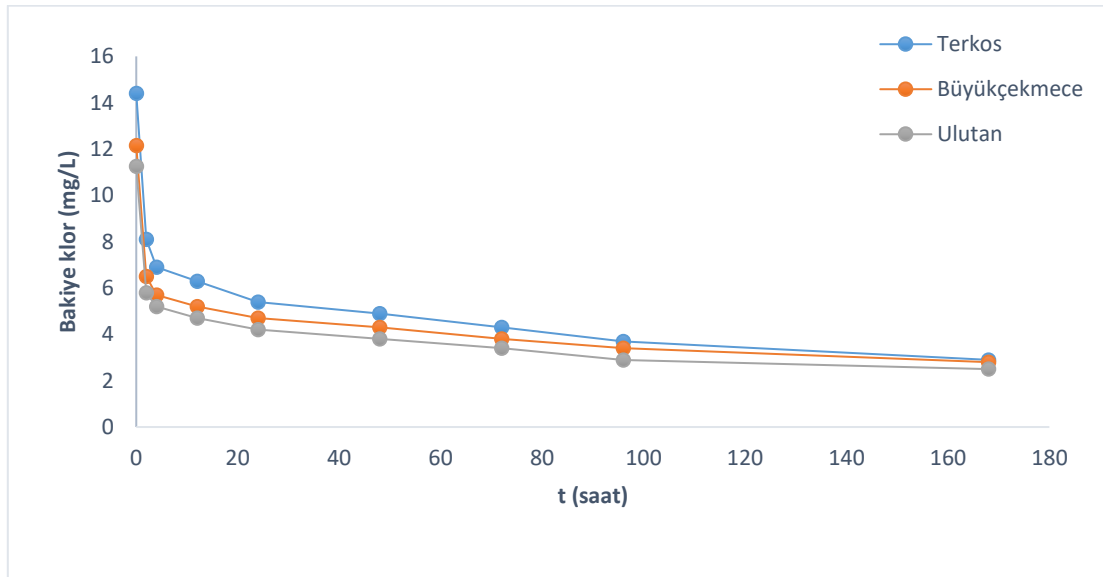
Şekil 4'de klorlanmış su numunelerinde artan reaksiyon sürelerinde TTHM miktarlarının da belirgin bir artış gerçekleştiği gözlenmektedir. Klorlanmış her bir ham suda reaksiyon süresine bağlı olarak meydana gelen THM miktarlarının da değiştiği görülmüştür. 168 saatlik bekleme süresi içerisinde oluşan TTHM'in yaklaşık %50'sinin 4 saatlik bir temas süresi sırasında oluştuğu belirlenmiştir. Klorlanmış Terkos Gölü suyunda 4 saatlik reaksiyon süresindeki  $176.21 \text{ µg/L}$  olarak bulunan bu değer 7 günlük TTHM miktarının ( $350.04 \text{ µg/L}$ ) yaklaşık %50'sini oluşturmaktadır. Diğer yandan 7 günlük bekleme süresinde oluşan TTHM'in miktar olarak yaklaşık %90'ı 96 saatlik bekleme süresi içinde ölçülen TTHM konsantrasyonu ( $313.02 \text{ µg/L}$ ) olmasına karşılık THM oluşum hızı ise

sadece %10'luk bir artış göstermektedir. Bu eğilim, Büyükçekmece Göl suları ile Ulutan Barajı su numunelerinde de tespit edilmiştir. Bu sonuç, klorlama prosesinin başlangıcında (0-4 saatlik temas süresi içinde) çok hızlı bir THM oluşumunun gerçekleştiğini daha sonra ise azalan bir hızla devam ettiğini ortaya koymaktadır. Benjamin ve diğ., (1997) tarafından yapılan çalışmalarda 7 günlük TTHM miktarının ilk 8 saatlik reaksiyon süresi içinde %55 ile %60'nın, meydana geldiği gözlenmiştir. Diğer yandan Çizelge 2'de farklı klor miktarlarında ve temas sürelerindeki TTHM derişimleri verilmiştir.

**Çizelge 2.** Farklı klor dozlarında klorlanmış içme suyu kaynaklarında farklı reaksiyon süreleri sonunda oluşan TTHM derişimleri.

Reaksiyon süresi (Saat)	Ulutan Barajı Ham su		Terkos Gölü Ham su		Büyükçekmece Gölü Ham su	
	TTHM ( $\mu\text{g/l}$ )	TTHM ( $\mu\text{g/l}$ )	TTHM ( $\mu\text{g/l}$ )	TTHM ( $\mu\text{g/l}$ )	TTHM ( $\mu\text{g/l}$ )	TTHM ( $\mu\text{g/l}$ )
	$\text{Cl}_2 = 14.4 \text{ mg/L}$	$\text{Cl}_2 = 5 \text{ mg/L}$	$\text{Cl}_2 = 12.15 \text{ mg/L}$	$\text{Cl}_2 = 5 \text{ mg/L}$	$\text{Cl}_2 = 11.25 \text{ mg/L}$	$\text{Cl}_2 = 5 \text{ mg/L}$
2	62.25	41.80	160.11	73.03	123.39	52.88
4	101.16	49.83	176.08	91.21	144.52	72.52
12	119.26	58.29	219.64	111.02	170.24	84.34
24	129.45	75.25	241.51	121.73	199.60	98.43
48	142.89	81.47	263.22	137.23	221.77	107.42
72	154.78	89.30	284.46	148.69	244.03	122.20
96	174.21	93.98	313.02	161.26	266.41	135.09
168	204.56	107.15	350.04	176.13	284.12	147.25

Çizelge 2'de görüldüğü üzere, her bir içme suyu kaynağından alınan su numunelerine uygulanan klor dozu ve temas süresi artıkça buna paralel olarak oluşan TTHM miktarlarının da arttığı gözlenmiştir. Çizelge 2'de, maksimum TTHM konstrasyonu, (14.4 mg/L klor dozunda ve 168 saatlik reaksiyon süreleri sonunda) Terkos Göl suyu numunelerinde gözlenmiştir. Ma ve ark. (2009) tarafından gerçekleştirilen benzer bir çalışmada klor dozu (2-10 mg/L) ve reaksiyon zamanı (2-72 saat) artıkça TTHM miktarlarının da arttığı tespit edilmiştir. Diğer yandan Çizelge-2 ve Şekil 4'e bakıldığında, her bir içme suyu kaynağının TOK/ $\text{Cl}_2 = 3$  olacak şekilde klorlanması, 168 saatlik bekleme süresi sonunda su kaynağında oluşacak maksimum THM miktarını (THMOP) vermektedir. Çalışmamızda, 168 saatlik bekleme süresi sonunda DOM-klor arasında meydana gelen reaksiyonlar sonucunda klor miktarındaki derişimler Şekil 5'de gösterilmiştir.



**Şekil 5.** Bakiye klor miktarının zamanla derişimi

Bu sonuç aynı zamanda belirtilen reaksiyon zamanlarında meydana gelen THM miktarı ile klor miktarındaki azalmalar arasında kuvvetli bir ilişki olduğunu göstermektedir. Şekil 5'e göre, ilk 2 saatlik reaksiyon süresi içerisinde klor miktarında hızlı bir düşüş meydana gelirken, reaksiyon sürelerinin sonuna doğru düşüş hızının yavaşladığı ve 168 saatlik reaksiyon sonunda ölçülen klor miktarında çok fazla bir derişim olmadığı görülmektedir.



## 4.Sonuç

Bu çalışmada, Terkos Gölü, Büyükçekmece Gölü ve Ulutan Barajından alınan su numunelerinin klorlanması sonucu meydana gelen THMOP miktarı ve THM bileşiklerinin dağılımı üzerinde, içme suyu kaynağının içerdiği DOM'nin yapısı, bromür konsantrasyonu, pH, klor dozu ve bekletme süresi gibi faktörlerin etkisi karşılaştırılarak incelenmiştir. Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda en yüksek THMOP konsantrasyonu (350.04 µg/L) ve SUVA değeri (3.12 L/mg.m) Terkos Gölü su örneklerinin klorlanması neticesinde elde edilmiştir. Her bir içme suyu kaynağının klorlanması sırasında THM bileşikleri arasında Kloroform'un (KFM) en yüksek oluşum oranına sahip olduğu görülmüştür. Buna karşılık, en fazla bromürlü THM türlerinin ise Büyükçekmece ham sularının klorlanması sonucunda meydana geldiği gözlenmiştir. Terkos, Büyükçekmece ve Ulutan Barajı su örneklerinde farklı pH'larda klorlanma yapılmış ve klorlama sonucunda en yüksek THM miktarlarının ise alkali pH değerlerinde (pH>7) meydana geldiği görülmüştür. Diğer taraftan, klorlanmış ham su örneklerinde 168 saatlik reaksiyon süresi sonunda oluşan TTHM miktarının yaklaşık %50'sinin ilk 4 saatlik reaksiyon süresi sonunda meydana geldiği ve klor dozu arttıkça oluşan THM miktarının da doğrusal olarak arttığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, bu çalışma yüksek miktarlarda içme suyu üreten arıtma tesislerinin optimizasyonuna ve su kalite parametrelerine önemli bir katkı sağlayacaktır.

## Kaynakça

- Barret, S.E., Krasner, S.W., & Amy, G.L. (2000). *Natural organic material and disinfection byproducts: Characterization and Control in drinking water-An overview*. ACS Symposium Series Vol. 761
- Bellar T.A., Lichtenberg, J.J., & Kroner, R.C. (1974). The occurrence of organohalides in chlorinated drinking waters. *J Am Water Works Assoc*, 66, 703–6.
- Benjamin, M.M., Li, C.W., & Korshin, G.V. (1997). The decrease of UV absorbance as a indicator of TOX formation. *Water Res*, 31(4), 946-949.
- Cedergren, M.I., Selbing, A.J., Löfman, O., & Bengt, A.J. (2002). Chlorination by products and nitrate in drinking water and risk for congenital cardiac defects. *Environ Res*, 89(2), 124–30.
- Croue, J.P. (2004). Isolation of humic and non-humic NOM fractions: Structural characterization. *Environ. Monit. Assess*, 92 (1-3), 93-207.
- Croue', J.P., Korshin, G.V., & Benjamin, M. (2000). Characterization of Natural Organic Matter in Drinking Water. Report no. 90780. miexde Am. Water Works Assoc. Research Foundation, USA
- Dodds, L., King, W., Woolcott, C., & Pole, J. (1999). Trihalomethanes in public water supplies and adverse birth outcomes. *Epidemiology*, 10(3), 233–41.
- EC. (1998). EEC Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption. *Official Journal of the European Communities*, L 330/32 5.12.98.
- Edzwald, J.K., & Van Benschoten, J.E. (1990). Aluminum coagulation of natural organic matter, In, *Chemical water and wastewater treatment.*, p. 341-359, Eds. Hahn, H.H., Klute, R., Springer, Berlin.
- Edzwald, J.K., Becker, W.C., & Wattier, K.L. (1985). Surrogate parameters for monitoring organic matter and THM precursors. *J Am Water Works Assoc*, 77, 122–32.
- Elshorbagy, W.E., Abu-Qadai, H., & Elsheamy, M.K. (2000). Simulation of THM species in water distribution systems. *Water Res*, 34, 3431–9.
- Gang, D. (2001). Modeling of THM and HAA formation in Missouri waters upon chlorination, *PhD Thesis*, Dissertation, the University of Missouri, Columbia, USA.
- Hwang, C.J., Scilimenti, M.J., & Krasner, S.W. (2000). Disinfection by-products formation reactivities of natural organic matter fractions of a low humic water, American Chemical Society Series 761:173-187
- Her, N., Amy, G., Chung, J., Yoon, J., & Yoon, Y. (2008). Characterizing dissolved organic matter and evaluating associated nanofiltration membrane fouling, *Chemosphere*, 70, 495–502.
- Lefebvre, O., & Moletta, R. (2006). Treatment of organic pollution in industrial saline wastewater: a literature review, *Water Res*, 40, 3671–3682.
- Owen, D.M., Amy, G.L., Chowdhury, Z.K., Paode, R., Mccoy, G., & Viscosil, K. (1995). NOM – characterization and treatability, *J. Am. Water Works Ass*, 87, 46–63.
- Vilge-Ritter, A., Masion, A., Boulange, T., Rybacki, D., & Bottero, J.Y. (1999). Removal of natural organic matter by coagulation-flocculation: a pyrolysis-GC-MS study. *Environ. Sci. Technol*, 33, 3027–3032.
- Ivancev, V.T., Dalmacijam, B., Tamas, Z., & Karlovic, E. (2002). The effect of different drinking water treatment processes on the rate of chloroform formation in the reactions of natural organic matter with hypochlorite. *Water Res*, 33, 3715–22.
- Jacangelo, J.G., Demarco, J., Owen, D.M., & Randtke, S.J. (1995). Selected processes for removing NOM – an overview, *J. Am Water Works Ass*, 87, 64–77
- Kitis, M., Karanfil, T., Kilduff J. E., & Wigton, A. (2001). The reactivity of natural organic matter to disinfection by-products formation and its relation to specific ultraviolet absorbance. *Water Science and Technology*, 43(2), 9–16.
- Kitis, M., Karanfil, T., Kilduff J. E., & Wigton, A. (2002). Probing reactivity of dissolved organic matter for disinfection by-product formation using XAD-8 resin adsorption and ultrafiltration fractionation, *Water Res*, 36(15), 3834–3848.
- Lei, Y.D., & Wania, F. (2004). Is rain or snow a more efficient scavenger of organic chemicals? *Atmos Environ*, 38, 3557–3571.
- Liang, L., & Singer, P.C. (2003). Factors influencing the formation and relative distribution of haloacetic acids and trihalomethanes in drinking water. *Environ Sci Technol*, 37(13), 2920–8.

- Ma, J., Zhang, T., Lu, J., & Chen, Z. (2009). Evaluation of disinfection byproducts formation during the chlorination and chloramination of dissolved organic matter fractions isolated from a filtered water, *J Hazard. Materials*, 162, 140-145.
- Ozdemir, K., Toroz, I., & Uyak, V. (2013). Assessment of trihalomethane formation in chlorinated raw waters with differential UV spectroscopy approach. *Sci World J*, 19, 1-8.
- SM. (2005). *AWWA, WEF Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*, Washington, DC, USA, 21th edition.
- Özdemir, K., Toröz, I., & Uyak, V. (2014). Relationship Among Chlorine Dose, Reaction Time and Bromide Ions on Trihalomethane Formation in Drinking Water Sources in Istanbul, Turkey *Asian J. Chem*, 26 (20), 6935-9.
- Pontius, F. (1993). D/DBP rule to set tight standards. *J Am Water Works Assoc*, 85, 22-30.
- Randtke, S.C., Hoehn, R.C., Knocke, W.R., Dietrich, A.M., Long, B.W., Wang, N. (1994). A comprehensive assessment of DBP precursor removal by enhanced coagulation and softening, In: *proceedings AWWA conference*, 737, June 19-23.
- Reckhow, D.A., Singer, P.C., & Malcolm, R.L. (1990). Chlorination of humic materials: byproduct formation and chemical interpretations. *Environ Sci Technol*, 24, 1655-64.
- Roccaro, P., Chang, H.S., Vagliasindi, G.A.F. & Korshin, G.V. (2008). Differential absorbance study of effects of temperature on chlorine consumption and formation of disinfection by-products in chlorinated water, *Water Res*, 42, 1879-1888.
- Uyak, V., & Toroz, I. (2007). Disinfection by-product precursors reduction by various coagulation techniques in Istanbul water supplies. *J Hazard. Materials*, 141(1), 320-328.
- Uyak, V., Ozdemir, K., & Toroz, I. (2008). Seasonal variations of disinfection by-product precursors profile and their removal through surface water treatment plants. *Sci.Tot. Environ*, 390(2-3), 417-424.
- Rodriguez, M.J., & Serodes, J.B. (2001). Spatial and temporal evolution of trihalomethanes in three water distribution systems. *Water Res*, 35, 1572-86.
- Rook, J.J. (1974). Formation of haloforms during chlorination of natural waters. *Water Treat Exam*, 23, 234-43.
- Sadiq, R., & Rodriguez, M.J. (2004). Disinfection by-products (DBPs) in drinking water and predictive models for their occurrence: a review, *Water Res*, 321, 21-46.
- Sharp, E.L., Parsons, S.A., & Jefferson, B. (2006). Seasonal variations in natural organic matter and its impact on coagulation in water treatment, *Sci. Total Environ*, 363, 183-194.
- Sharp, E.L., Parsons, S.A., & Jefferson, B. (2006). The impact of seasonal variations in DOC arising from a moorland peat catchment on coagulation with iron and aluminum salts, *Environ. Pollut*, 140, 436-443.
- Summers, R.S., & Roberts, P.V. (1988). Activated carbon adsorption of humic substances: 1. Heterodisperse mixtures and desorption, *J. Colloid Interf. Sci*, 122, 367-381.
- TSE-266. (2012). Regulation concerning water intended for human consumption and drinking water standards. Turkish Ministry of Health, Official News Paper, 2005; 25730. Ankara
- USEPA. (2003a). National primary drinking water regulations: stage 2 disinfectants and disinfection byproducts (D/DBP). Final rule, 68, 159.
- USEPA. (2003b). Method 552.3. Determination of haloacetic acids and dalapon in drinking water by liquid-liquid microextraction, derivatization and gas chromatography with electron-capture detection., Technical Support Center, Office of Groundwater and Drinking Water. Cincinnati, Ohio: US Environmental Protection Agency.
- Uyak, V., Toroz, I., & Meric, S. (2005). Monitoring and modeling of trihalomethanes (THM) for a water treatment plant in Istanbul, *Desalination*, 176, 91-101.
- Yang, C.Y., Cheng, B.H., Tsai, S.S., Wu, T.N., Lin, M.C., Lin, K.C. (2000). Association between chlorination of drinking water and adverse pregnancy outcome in Taiwan. *Environ Health Perspect*, 108(8), 765-8.
- Yetis, U., Dilek, F.B., Sahinkaya, E., Kaplan, S.S., & Ates, N. (2007). Occurrence of disinfection by products in low DOC surface waters in Turkey, *J Hazard.Mat*, 142, 526- 534.
- Zou, H., Yang, S., & Xu, O. (1997). Formation of POX and NPOX with chlorination of fulvic acid in water: empirical models. *Water Res*, 31(6), 1536- 1541.



# Macar Fiği ile Arpa Yaş Otunun Farklı Oranlarda Karıştırılarak Elde Edilen Silajın Kimyasal Kompozisyonu ve Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi

Nizamettin Turan<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4026-6781)

(İlk Geliş Tarihi 15 Ekim 2019 ve Kabul Tarihi 18 Kasım 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.643509)

**ATIF/REFERENCE:** Turan, N. (2019). Macar Fiği ile Arpa Yaş Otunun Farklı Oranlarda Karıştırılarak Elde Edilen Silajın Kimyasal Kompozisyonu ve Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 787-793.

## Öz

Bu araştırma; Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nin ekolojik koşullarında kışlık olarak yetiştirilen Macar fiği (*Vicia pannonica*) ile Arpa (*Hordeum vulgare* L.)'nin farklı karışım oranlarından elde edilen silajın kalite parametrelerini belirlemek amacıyla 2017-2018 yılında yürütülmüştür. Çalışmada; Macar fiği (Anadolu pembesi), Arpa (Tokak 157/37) çeşitleri kullanılmıştır. Silaj; %100 Macar fiği (MF), %100 arpa (A), %70 Macar fiği + %30 arpa, %50 Macar fiği + %50 arpa ve %30 Macar fiği + %70 arpa karışım oranlarından elde edilmiştir. Materyaller, ağzı kapaklı ve hava almayacak şekilde üniform bir şekilde karıştırılarak plastik kavanozlara doldurulmuş ve sıkıştırılmıştır. Kavanozlar 3'er lt'lik olup, 4 tekerrürlü olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan Silaj kavanozları 60 gün sonra açılarak kalite ve organik asit değerleri belirlenmiştir. Ortalama analiz sonuçlarına göre; asit deterjanda çözünmeyen lif (ADF), nötral deterjanda çözünmeyen lif (NDF), silaj kuru madde oranı (KM), ham protein (HP) oranı, pH ve nispi yem değeri (NYD) sırasıyla %31.44, %45.10, %24.89, %13.79, 3.93 ve 134.20; ortalama laktik asit (LA), asetik asit (AA), bütirik asit (BA) ve propiyonik asit (PA) oranları sırasıyla %1.56, %0.60, %0.42, %0.06; kalsiyum (Ca), fosfor (P) ve magnezyum (Mg) oranları sırasıyla %1.31, %0.56, %0.20 olarak tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular en yüksek ham protein oranı ve en düşük ADF ve NDF oranı olarak değerlendirildiğinde; Yalın Macar fiği (%100 MF) ve %70 Macar fiği ile %30 Arpa karışımının silajı, diğer karışımlardan elde edilen silajlardan daha üstün olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Baklagil, Tahıl, Silaj, Karışım, Kalite.

## Determination of Chemical Composition and Quality properties of Silage produced by Mixing Green Hungarian Vetch and Barley in various Proportions

### Abstract

This research was conducted in Eastern Anatolia Region of Turkey in 2017-2018 to determine the nutritive values of the silage that produced by mixing Hungarian vetch (*Vicia pannonica*) and barley (*Hordeum vulgare* L.) with different levels. Hungarian vetch (Anatolian pink), Barley (Tokak 157/37) varieties were used in the study. Hungarian vetch and barley plants were planted separately. Mixture ratios were 100% Hungarian vetch, 100% barley, 70% Hungarian vetch + 30% barley, 50% Hungarian vetch + 50% barley and 30% Hungarian vetch + 70% barley. The silages were uniformly mixed and compressed in 3 lt plastic jars with good air isolation in 4 repetitions. The prepared silage jars were opened after 60 days and the quality and organic acid values were determined. The results indicated that acid detergent insoluble fiber (ADF), neutral detergent insoluble fiber (NDF), silage dry matter ratio (DM), crude protein (CP) ratio, pH and relative feed value (RFV) were respectively 31.44%, 45.10%, 24.89%, 13.79%, 3.93 and 134.20 while, average lactic acid (LA), acetic acid (AA), butyric acid (BA) and propionic acid (PA) ratios were 1.56%, 0.60%, 0.42%, 0.06%, respectively. The ratios of calcium (Ca), phosphorus (P) and magnesium (Mg) were as 1.31%, 0.56% and 0.20%, respectively.

\* Sorumlu Yazar: Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt, Türkiye, ORCID: 0000-0002-4026-6781, [nturan49@gmail.com](mailto:nturan49@gmail.com)

According to the results of the present research; when considered the highest crude protein, the lowest ADF and NDF ratio, 100% Hungarian vetch and 70% Hungarian vetch with 30% barley silage mixture was found to be superior compared to other mixtures.

**Keywords:** Legume, Silage, Grain, Silage, Mixture, Quality.

## 1. Giriş

Silaj, suca zengin yemlerin havasız bir ortamda süt asidi bakterilerinin etkisiyle fermentasyona uğratılması (ekşitilmesi) sonucu elde edilen bir yemdir. Silaj kısaca hayvan turşusu olarak da tanımlanır. Silajın saklandığı yere de silo veya silaj çukuru adı verilir. Hayvanlardan yüksek verim alınabilmesi, iyi bakım ve besleme ile sağlanabilir. Bu nedenle hayvan beslemede kaliteli silaj önemli bir yer tutmaktadır. Bilinçli hayvancılık yapılan işletmelerde silo yemi (silaj), hayvanların beslenmesinde verimliliği artıran önemli bir uygulamadır. Silaj amaçlı yetiştirilen bitkilerin ekim zamanı, ekim şekli, silolanması, hasat zamanı önemli faktörlerdendir.

Fiğ+tahıl karışımları ile ilgili yapılan bazı çalışmalarda, en yüksek ham protein oranının saf fiğ ekimlerinden sağlandığı, ham protein veriminin ise karışımı oluşturan türlerin yalın ekimlerinden daha fazla olduğu (İptaş ve Yılmaz 1998; Altınok ve Hakyemez, 2002; Büyükburç ve Karadağ, 2002) ifade edilmektedir. Nitekim bazı araştırmacılar, karışımların ham protein verimleri artan tahıl oranı (Sağlamtimur ve ark., 1989; Patrick ve ark., 1998) ya da fiğ oranına (Aydın ve Tosun 1991; Altınok ve Hakyemez, 2002) bağlı olarak artış gösterdiğini vurgulamaktadırlar.

Macar fiği (*Vicia pannonica* Crantz) serin mevsim bitkisi olduğundan çok sert geçen kışlarda bile donmadan ve zarar görmeden kalabilen, yüksek rakımda yetişebilen, kuraklığa dayanıklı, suya orta düzeyde ihtiyaç gösteren tek yıllık baklagil yem bitkisidir. Macar fiği ülkemizin her yerinde ana ürün veya II. ürün olarak hemen hemen her toprakta ve iklimde yetiştirilebilmektedir (Açıkgöz, 1991). Karışık ekilen fiğler sülükleri ile tahıl bitkilerine sarılır ve dik gelişirler. Karışık ekim ile biçim kolaylaşır, alt kısımlarda çürümeler azalır, toplam kuru madde verimi artar, bitkinin protein oranı ve kalitesi yükselir, gübre ihtiyacı azalır ve hastalık-yabancı ot ve zararlı yoğunluğu azalır (Çakmakçı ve ark., 2005).

Ülkemizin Doğu Anadolu Bölgesi'nde meraya dayalı hayvancılık ön plandadır. Bu bölgenin ekolojik faktörleri ve vejetasyon süresinin kısalığı göz önüne alındığında, hayvanların kaliteli kaba yem ihtiyaçlarının karşılanması açısından yem bitkileri tarımının yaygınlaştırılması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma ile farklı oranlarda karıştırılan Macar fiği ile arpa hasıllarının besin madde kompozisyonunu ve sindirilebilirliğini tespit etmek amacıyla yürütülmüştür.

## 2. Materyal ve Metot

Bu araştırma; Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesinde yer alan Muş ilinin Organize Sanayi Bölgesinde 2017-2018 yıllarında yürütülmüştür. Arpa ve Macar fiği ekimi kışlık olarak yapılmıştır. Denemede bitki materyali olarak; Muş yöresinde en fazla yetiştiriciliği yapılan Macar fiği (Anadolu pembesi) ve Arpa (Tokak 157/37) çeşitleri kullanılmıştır. Kullanılan bu çeşitler soğuğa ve kurağa dayanıklı olup Güney Marmara, Kuzey İç ve Ege, Trakya, Karadeniz, Güneydoğu ve Doğu Anadolu, İç Anadolu ve Akdeniz Bölgelerine tavsiye edilmektedir.

Deneme amaçlı her bir çeşit ayrı ayrı 40 m<sup>2</sup>'lik alana tahıl mibzeri ile ekilmiştir. Ekimde 20 kg/da arpa, 10 kg/da Macar fiği tohumluğu kullanılmıştır. Arpa ekimi ile birlikte 15 kg da<sup>-1</sup> DAP gübresi (2.7 kg da<sup>-1</sup> N, 6.9 da<sup>-1</sup> P), Macar fiğine ise 10 kg da<sup>-1</sup> DAP gübresi (1.8 kg da<sup>-1</sup> N, 4.6 da<sup>-1</sup> P) uygulanmıştır. Macar fiği tam çiçeklenme, arpa süt olum döneminde iken hasat edilmiştir. Deneme parselleri ayrı ayrı el orakları yardımıyla ve eş zamanlı olarak hasat edilmiştir. Hasat edilen bitki materyalleri gölgede 3-4 saat soldurulduktan sonra, traktör kuyruk mili ile çalışan silaj hasat makinesiyle 0.5-1 cm'lik boyutlarda kıyılmıştır. Kıyılma işlemi tamamlandıktan sonra belirlenen oranlara göre materyaller hassas terazide tartılmıştır. Tartılan materyaller homojen bir şekilde karıştırılarak, her bir oran 3 tekerrürlü olmak üzere 2 lt'lik plastik kavanozlara doldurulmuştur. Kavanozlara doldurulan silaj materyalleri elle iyice sıkıştırılmıştır. Kavanozların kapağı sıkıca kapatıldıktan sonra hava almaması için koli bandı ile iyice sarılmıştır. Daha sonra karanlık ortama 60 gün süre ile mayalanmaya bırakılmıştır. Bu süre sonunda olgunlaşan silajlar açılmış ve kavanozların ağız seviyelerinden 4-5 cm'lik kısım atıldıktan sonra, pH değerleri pH metre ile ölçülmüştür. Her bir kavanozdan 500 gr silaj tartıldıktan sonra kuru madde (KM) oranını belirlemek amacıyla 60 °C'ye ayarlı etüvlerde 48 saat süreyle sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Silajların kuru ağırlığı alındıktan sonra örnekler öğütülmüş ve analizler için hazır hale getirilmiştir.

Silajın ham protein (HP) oranı, Kalsiyum (Ca), Magnezyum (Mg), Fosfor (P) içerikleri, acid detergent fiber (ADF) ve neutral detergent fiber (NDF) oranı Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS) analiz cihazı ile Near Infrared Analysis, Yakın Kızıl Ötesi Analizi (NIR) spektroskopik teknikle tespit edilirken, organik asit oranları [Lactic acid (LA), asetik asit (AA), propionik asit (PA), butirik asit (BA)] HPLC yöntemine (Canale ve ark., 1984) göre yapılmıştır. Belirlenen ADF ve NDF oranlarından sindirilebilir kuru madde [SKM= 88.9-(0.779 x % ADF)] ve kuru madde tüketimi (KMT= 120 / % NDF), SKM ve KMT oranlarından ise nispi yem değeri [NYD= (DDM x DMI)/1.29] formüller yardımıyla bulunmuştur (Morrison, 2003).

Elde edilen değerler üzerinden %5 ve %1 önemlilik düzeylerine göre JUMP programı kullanılarak varyans analizine tabi tutulmuştur (Kalaycı, 2005). Ortalama değerler arasındaki farklılıklar LSD çoklu karşılaştırma testine göre karşılaştırılmıştır.



## 2.1. Araştırma Yerinin İklim Özellikleri

Araştırmanın yürütüldüğü Muş ilinin uzun yıllar ortalama yağış miktarı 745.02 mm, nispi nem %61.99, sıcaklık ise 8.10 °C olarak gerçekleşmiştir. Yetiştirme sezonunda nispi nemin en yüksek olduğu Ocak ayında sıcaklık düşük, yağış ise yüksek olmuştur (Çizelge 1).

Çizelge 1. Araştırma yerinin iklim özellikleri\*

Aylar	Sıcaklık (°C)		Yağış (mm)		Nispi nem (%)	
	UYO**	2017-2018	UYO**	2017-2018	UYO**	2017-2018
Eylül	21.13	22.90	20.16	0.00	32.76	20.50
Ekim	13.54	12.80	65.87	34.40	53.12	41.70
Kasım	5.56	6.00	65.24	69.60	67.91	70.80
Aralık	-1.62	1.30	99.36	33.30	80.23	75.40
Ocak	-5.25	0.50	113.30	84.00	82.09	76.40
Şubat	-2.87	4.10	86.69	81.30	77.90	64.30
Mart	3.78	9.40	104.27	61.40	67.56	54.70
Nisan	10.58	12.50	90.63	26.80	57.90	46.70
Mayıs	15.28	15.40	69.22	125.60	57.42	63.40
Haziran	20.91	20.50	30.28	48.80	43.02	48.60
Toplam/Ortalama	8.10	10.54	745.02	565.20	61.99	56.25

\*: Muş Meteoroloji İl Müdürlüğü, \*\*: UYO: Uzun yıllar ortalaması (2009-2018)

Çizelge 1'de görüldüğü gibi yetiştirme sezonunda sıcaklık, uzun yıllar sıcaklık ortalamasının üzerinde seyrederken; Nispi nem ve yağış ortalamaları, uzun yıllar ortalamasından daha düşük olmuştur. Deneme alanı sulamaya gerek duyulmadan hasat edilmiştir.

## 2.2. Araştırma Alanının Bazı Toprak Özellikleri

Özel Muş Toprak Analiz Laboratuvarında yapılan toprak analiz sonuçlarına göre, denemenin kurulduğu alanın toprakları nötr, kireçli, tuzsuz, organik madde oranı az ve yarayıslı fosfor bakımından fakir, potasyum miktarı ise yeterli düzeyde olduğu belirlenmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Araştırma alanının bazı toprak özellikleri

pH	Salt ds/m	Lime (CaCO <sub>3</sub> ) (%)	Organic matter (%)	P (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) kg da <sup>-1</sup>	K (K <sub>2</sub> O) ppm
7.02	0.02	1.58	1.14	2.63	209.99

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Silaj pH değeri, KM, HP, ADF ve NDF Oranı

Silajın pH değeri, kuru madde (KM), ham protein (HP), asit deterjanda çözünmeyen lif (ADF), nötral deterjanda çözünmeyen lif (NDF) oranları Macar fiği + arpa silaj karışımına etkisi istatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir. En yüksek pH değeri istatistiki olarak aralarında fark bulunmayan %70 MF + %30 A (4.05) ve %50 MF + %50 A (4.00) karışım silajlarında, en düşük ise %30 MF + %70 A (3.80) silajında tespit edilmiştir. Ortalama pH değeri ise 3.93 olarak gerçekleşmiştir. Kolay fermente olan karbonhidrat içeriği arttıkça iyi bir silaj için gerekli olan uygun asitlik sağlanabilmektedir. Buna bağlı olarak karışıma giren arpa oranı arttıkça pH değerinde azalma meydana gelmiştir. Bu da beklenen bir durumdur (Çizelge 3). Pek çok araştırmacı karışıma dâhil olan arpa miktarının artması sonucu pH değerinin düştüğünü bildirmişlerdir (Aykan ve Saruhan, 2018; Bengisu, 2019; Seydoşoğlu ve Gelir 2019; Seydoşoğlu, 2019a; Seydoşoğlu, 2019b).

Veriler değerlendirildiğinde; en yüksek silaj kuru madde oranı %100 arpa silajında (%28.77), en düşük ise %100 Macar fiği silajında (%22.11) belirlendiği görülmektedir. Farklı karışım oranlarından elde edilen silaj kuru madde oranları ortalaması %24.89 olarak saptanmıştır. Bu da, kaliteli bir silajda kuru madde oranının %23.5 ve üzeri olması gerektiğini ifade eden Açıkgöz (1995)'ün bulgularıyla uyumlu olduğundan, kuru madde açısından kaliteli bir silaj elde edildiği anlaşılmaktadır.



Çizelge 3. Macar fiği ile arpa karışımından elde edilen silajın pH değeri, KM, HP, ADF ve NDF oranları

Karışım Oranları	pH değeri	KM	HP	ADF	NDF
%100 MF	3.88 <sup>cd</sup>	22.11 <sup>d</sup>	18.12 <sup>a</sup>	28.60 <sup>d</sup>	43.38 <sup>c</sup>
%100 A	3.92 <sup>bc</sup>	28.77 <sup>a</sup>	11.01 <sup>e</sup>	33.70 <sup>a</sup>	46.23 <sup>b</sup>
%70 MF + %30 A	4.05 <sup>a</sup>	23.39 <sup>c</sup>	14.86 <sup>b</sup>	30.19 <sup>c</sup>	43.00 <sup>c</sup>
%50 MF + %50 A	4.00 <sup>ab</sup>	23.22 <sup>cd</sup>	13.07 <sup>c</sup>	31.61 <sup>b</sup>	45.07 <sup>b</sup>
%30 MF + %70 A	3.80 <sup>d</sup>	26.98 <sup>b</sup>	11.90 <sup>d</sup>	33.11 <sup>a</sup>	47.84 <sup>a</sup>
Ortalama	3.93	24.89	13.79	31.44	45.10
DK (%)	1.27	2.37	2.39	1.94	1.44
LSD	0.23**	2.58**	1.45**	2.65	2.85**

Çizelge 3 incelendiğinde; baklagillerin yüksek protein içeriğine bağlı olarak, karışıma giren Macar fiği oranı arttıkça, ham protein oranında artış meydana geldiği görülmektedir. Birçok araştırmacı (Demirel ve ark. 2003; Aykan ve Saruhan, 2018; Seydoşoğlu, 2019a; Seydoşoğlu ve Gelir 2019; Bengisu 2019), buğdaygil ve baklagil karışımlarından yapılan silajlardaki baklagil oranının yükselmesi durumunda ham protein oranlarının buna bağlı olarak arttığını ifade etmeleri, araştırma sonucunu desteklemektedir.

Macar fiği ile arpanın karışım oranlarından elde edilen silajın ADF oranları %28.60-33.70 arasında değişirken, ortalama ADF oranı %31.44 olarak gerçekleşmiştir. Macar fiği ve arpanın farklı karışımından elde edilen en düşük ADF oranı %100 MF silajından elde edilmiştir. En yüksek ADF oranı ise istatistiksel açıdan aynı gruba giren %100 A ile %30 MF + %70 A karışım silajında belirlenmiştir (Çizelge 3). Macar fiği ile arpanın karışımından oluşan silaj gruplarının ADF oranları; Rohweder ve ark. (1978)'nin baklagil, buğdaygil ve baklagil karışımlarına ait kalite standartlarına göre, karışımda Macar fiği oranının yüksek olduğu silajlar prime (en üstün kaliteli, <<31) kalite sınıfında yer alırken, arpa oranının yüksek olduğu silajlar 1. kalite sınıfında (% 31-35 %) yer almaktadır.

Silajların NDF oranları %43.00-47.84 arasında değişmiş olup, ortalama NDF oranı %45.10 olarak tespit edilmiştir. En düşük NDF oranı istatistiksel olarak farksız olan %100 MF ile %70 MF + %30 A silaj karışımından elde edilirken, en yüksek NDF oranı %30 MF + %70 A silaj karışımından elde edilmiştir (Çizelge 3). Rohweder ve ark., (1978)'nin kalite standartlarına göre arpa ile Macar fiği karışım oranlarından elde edilen silajın NDF oranına göre kalitesi genel olarak 1. kalite sınıfında (%40-46) yer alırken, %30 MF + %70 A silajı 2. kalite sınıfında (% 47-53) yer almıştır.

Karışıma giren baklagil oranı arttıkça ADF içeriğinin %33.11'den %30.19'a, NDF oranı ise benzer şekilde %47.84'ten %43.00'e düşmesi, baklagil yem bitkilerinin protein oranı bakımından yüksek değere sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. Nitekim (Carr ve ark. (2004), oransal olarak hücre içi içeriğinin artışına bağlı olarak hücre duvarını oluşturan maddelerin oranının düştüğünü ifade etmektedir.

Silaj ADF oranı ile ilgili yapılan çalışmalarda elde edilen bulgular; Bergen ve ark. (1991) %34.50-35.60, Aykan ve Saruhan (2018) %35.33-40.50, Polat ve ark. (1998) %41.80-42.62 arasında değiştiğini; silaj NDF oranları ise Bergen ve ark. (1991) %50.00-51.80, Aykan ve Saruhan (2018) %55.02-69.76, Polat ve ark. (1998) %65.20-65.20 arasında değiştiği araştırmacılar tarafından saptanmıştır.

ADF ve NDF ile ilgili elde edilen bulgular, yukarıda zikredilen bazı literatür bilgileriyle uyumlu, bazılarında farklı olduğu tespit edilmiştir. Bu farklılığın nedeni olarak denemelerde kullanılan bitki türleri, biçim dönemleri, karışım oranları ve ekolojik koşullardan kaynaklandığı söylenebilir.

### 3.2. Silaj SKM, KMT, NYD, Ca, Mg ve P Oranları

Macar fiği ile arpanın farklı karışım oranlarından elde edilen silajın sindirilebilir kuru madde (SKM), kuru madde tüketimi (KMT), nispi yem değeri (NYD), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg) ve fosfor (P) oranları açısından etkisi istatistiksel yönden %1 düzeyinde önemli olduğu saptanmıştır (Çizelge 4).

Çizelge 4. Macar fiği ile arpa karışımından elde edilen silajın SKM, KMT, NYD, Ca, Mg ve P oranları

Karışım Oranları	SKM	KMT	NYD	Ca	Mg	P
%100 MF	66.64 <sup>a</sup>	2.76 <sup>a</sup>	144.05 <sup>a</sup>	1.69 <sup>a</sup>	0.26 <sup>a</sup>	0.58 <sup>ab</sup>
%100 A	62.64 <sup>d</sup>	2.59 <sup>b</sup>	127.02 <sup>c</sup>	0.89 <sup>c</sup>	0.12 <sup>c</sup>	0.62 <sup>a</sup>
%70 MF + %30 A	65.38 <sup>b</sup>	2.79 <sup>a</sup>	142.57 <sup>a</sup>	1.38 <sup>b</sup>	0.23 <sup>ab</sup>	0.53 <sup>bc</sup>
%50 MF + %50 A	64.27 <sup>c</sup>	2.66 <sup>b</sup>	133.71 <sup>b</sup>	1.40 <sup>b</sup>	0.22 <sup>ab</sup>	0.50 <sup>c</sup>
%30 MF + %70 A	63.10 <sup>d</sup>	2.51 <sup>c</sup>	123.67 <sup>c</sup>	1.20 <sup>b</sup>	0.19 <sup>b</sup>	0.55 <sup>a-c</sup>
Ortalama	64.40	2.67	134.20	1.31	0.20	0.56
DK (%)	0.72	1.13	1.81	10.68	9.40	5.45
LSD	2.07**	0.16**	10.63**	0.62**	0.09**	0.16**

SKM oranı ortalaması %64.40 olarak gerçekleşmiş olup, en yüksek SKM oranı %66.64 ile yalın Macar fiği silajından elde edilmiştir. En düşük ise istatistiksel açıdan farksız olan %100 A (%62.64) ile %30 MF + %70 A (%63.10) karışım silajında belirlenmiştir. Karışımda Macar fiği oranı arttıkça buna paralel olarak SKM oranı artmıştır. Bu nedenle yalın Macar fiği silajının SKM oranı açısından kalitesi, Rohweder ve ark. (1978)'nin kalite sınıflandırmasına göre prime (en üstün kaliteli) sınıfında yer alırken, diğer oranların SKM değeri açısından kalitesi 1. kalite sınıfında yer almıştır (Çizelge 4).

Silaj grupları Kuru madde tüketimi (KMT) yönünden incelendiğinde ise; en yüksek KMT oranı rakamsal olarak %70 MF + %30 A (%2.79) karışım silajından, en düşük ise %30 MF + %70 A (%2.51) silajından elde edilmiştir. Ortalaması %2.67 olarak gerçekleşen karışım silajları KMT değeri açısından kalitesi, Rohweder ve ark. (1978)'nin kalite sınıflandırmasına göre prime (en üstün kaliteli) sınıfında yer aldığı belirlenmiştir (Çizelge 4).

Ortalaması 134.20 olarak gerçekleşen en yüksek NYD istatistiki açıdan aynı grupta yer alan %100 MF (144.05) ve %70 MF + %30 A (142.57) karışım silajından sağlanmıştır. NYD açısından silajların kalitesi değerlendirildiğinde ise, Rohweder ve ark. (1978)'nin kalite sınıflandırmasına göre 1. kalite sınıfında yer aldığı görülmektedir (Çizelge 4).

Araştırma sonuçlarına göre silajların ortalama Ca, Mg, P oranları sırasıyla %0.62, %0.09, %0.16 olarak gerçekleşmiştir. Bazı araştırmacılar (Kidambi ve ark.1989) tarafından hayvanların düzenli ve rasyonel bir şekilde beslenmeleri için, yemlerin yapısında %0.31 Ca, %0.1 Mg ve %0.21 ve bulunması gerektiği ifade edilmektedir. Bu bulgulara göre silajların ihtiva ettiği mineral madde içeriği değerlendirildiğinde; ortalama Ca, Mg ve P içeriklerinin büyük baş hayvanların yem rasyonlarında olması gereken miktarlara benzer olduğu, dolayısıyla adı geçen besin elementleri bakımından herhangi bir beslenme probleminin bulunmadığı söylenebilir.

### 3.3. Silaj LA, AA, BA, PA Oranları

Macar fiği ile arpanın farklı karışım oranlarından elde edilen silajın laktik asit (LA), asetik asit (AA), bütirik asit (BA) ve propiyonik asit (PA) oranları açısından etkisi istatistiki yönden %1 düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 5).

Çizelge 5. Macar fiği ile arpa karışımından elde edilen silajın LA, AA, BA ve PA oranları

Karışım Oranları	LA	AA	BA	PA
%100 MF	1.70 <sup>a</sup>	0.71 <sup>a</sup>	0.74 <sup>a</sup>	0.07 <sup>b</sup>
%100 A	1.69 <sup>a</sup>	0.57 <sup>bc</sup>	0.47 <sup>c</sup>	0.08 <sup>a</sup>
%70 MF + %30 A	1.50 <sup>b</sup>	0.52 <sup>c</sup>	0.23 <sup>d</sup>	0.08 <sup>a</sup>
%50 MF + %50 A	1.49 <sup>b</sup>	0.61 <sup>b</sup>	0.58 <sup>b</sup>	0.06 <sup>b</sup>
%30 MF + %70 A	1.44 <sup>c</sup>	0.59 <sup>bc</sup>	0.10 <sup>e</sup>	0.02 <sup>c</sup>
Ortalama	1.56	0.60	0.42	0.06
DK (%)	1.28	6.68	2.38	4.61
LSD	0.09**	0.18**	0.05**	0.02**

Farklı oranlarda karıştırılarak elde edilen silajların laktik asit (LA) oranları %1.44-1.70 arasında varyasyon göstermiştir. Laktik asit ortalaması ise %1.56 olarak bulunmuştur. McDonald ve ark. (1991), Alçiçek ve Özdoğan (1997) ve Weinberg ve Ashbell (2003), kaliteli silaj yemlerinde LA oranının %2.00'in üzerinde olması gerektiğini bildirmektedir. Ayrıca Filya (2001), laktik asit (LA) bakterileri fermantasyon döneminde silaj içerisindeki mikrobiyotanın en önemli üyeleridir. Çünkü silolanan materyal LA tarafından korunur. Silaj fermantasyonu sırasında oluşan organik asitlerin miktar ve kompozisyonları fermantasyonun kalitesini belirlediğini ifade etmektedir. Nitekim, Seydoşoğlu (2018) tarafından yapılan bir çalışmada yem bezelyesi + arpa silaj karışımında ortalama laktik asit oranını %2.08 olarak tespit ettiğini belirtmektedir.

Silajların bütirik asit (BA) oranı ise %0.10 ile %0.73 arasında değişmiş olup, ortalaması %0.42 olarak gerçekleşmiştir. En yüksek BA oranı %0.73 ile yalın macar fiği silajında, en düşük ise %0.10 ile %30 MF + %70 A karışım silajında tespit edilmiştir. Silajlardaki bütirik asit oranı ile silaj kalitesi arasında yakın bir ilişki vardır. İyi gerçekleşmiş bir fermantasyon sonucunda oluşan kaliteli bir silaj yeminde bütirik asitin hiç istenmemesine rağmen, genellikle %0.1-0.7 arasında olması normal karşılandığı bildirilmektedir (Woolford, 1984; Weinberg ve Ashbell, 2003). Elde edilen bulgular araştırmacıların bulgularına göre değerlendirildiğinde; bütirik asit oranı yalın macar fiği silajında (%0.74) normal değerlerden biraz yüksek bulunmuştur. Ancak diğer silaj gruplarında normal değerler aralığında olduğu görülmektedir (Çizelge 5).

Bazı araştırmacılar (McDonald ve ark., 1991; Alçiçek ve Özkan, 1996) yüksek kaliteli bir silo yeminde LA, AA ve BA oranlarıyla silaj niteliği arasında önemli düzeyde bir ilişki bulunduğu ve LA oranının %2'nin üzerinde, buna karşılık AA oranının ise %0.3-0.7 arasında bulunması gerektiğini belirtmektedir. Araştırmada elde edilen bulgular, araştırmacıların bu genel bilgileri ile karşılaştırıldığında; LA oranının olması gereken miktardan daha düşük olduğu, AA oranının ise normal değerler aralığında olduğu tespit edilmiştir.

Silajların propiyonik asit (PA) oranı ise %0.02 ile %0.08 arasında değişmiş olup, ortalaması %0.06 olan PA oranı en yüksek %0.08 ile istatistiki açıdan aralarında fark bulunmayan yalın arpa (%100 A) ve %70 MF + %30 A karışım silajlarında belirlenmiştir.

Organik asitler ile ilgili elde edilen bulgular: Lactic acid; Seydoşoğlu (2018)'nin (%2.01-2.16), Polat ve ark. (1998)'nin (%2.25-2.38) ve Bergen ve ark. (1991)'nin (%5.96-6.12) bulgularından düşüktür. Asetik asit; Seydoşoğlu (2018)'nin (%0.390-0.515), Polat ve ark. (1998)'nin (%0.59-0.67) bulgularıyla uyumlu; Basaran ve ark. (2018)'nin (%0.001-0.173) bulgularından yüksek, Bergen ve ark. (1991)'nin (%0.001-0.173) bulgularından düşüktür.

(1991)'nın (%0.82-1.17) bulgularından ise düşük bulunmuştur. Bütirik asit; Seydoşoğlu (2018)'nin (%0.004-0.010) bulgularından yüksek, Basaran ve ark. (2018)'nin (%0.330-0.885) bulgularıyla uyumlu bulunmuştur. Propiyonik asit; Seydoşoğlu (2018)'nin (%0.145-0.210), Homan (2016)'in (%0.006-1.850), Gelir (2018)'in (%0.1-0.7) bulgularından daha düşük bulunmuştur.

Silolanan bitkisel materyalin homofermantatif laktik asit bakterisi (LAB) sayısı bakımından yetersiz olması, pH'nın düşmesinde bir gecikmeye yol açmaktadır. Bunun sonucunda besin madde kaybında bir artış ve elde edilen silajların tüketilmesinde ise bir düşüş meydana gelmektedir (Woolford, 1984). Bu nedenle fiğ + arpa karışımından oluşan silajlarda laktik asit içeriğini artırmak amacıyla mikrobiyal katkı maddesi olarak başta *Lactobacillus plantarum* olmak üzere homofermantatif özellikte ve laktik asit bakterilerini içeren çeşitli katkı maddelerinin kullanılması tavsiye edilmektedir. Bilakis Kung ve ark. (2003) ABD'de baklagil silajı için kullanılan ana katkı maddesi bakterisi inokulantları olduğu ifade etmektedir.

#### 4. Sonuç

Vejetasyon dönemleri birbirlerine uygun olan Macar fiği ile arpanın farklı oranlarda karıştırılarak elde edilen silajların kalitesini ve kimyasal kompozisyonunu belirlemek amacıyla yürütülen bu çalışmada; Macar fiğinin karışıma katılma oranı arttıkça HP, Ca, Mg, NYD, SKM, KMT oranları da paralel olarak artmıştır. ADF ve NDF oranı yalnız Macar fiği silajında en düşük seviyede bulunurken, HP, Ca, Mg ve NYD en yüksek düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Silaj içeriğinde biraz düşük bulunan LA oranını artırmak için katkı maddelerinin kullanılması önerilmektedir.

#### Kaynakça

- Açıkgöz, E., 1991. Yem Bitkileri Tarımı, Uludağ Üniversitesi Yayınevi. Bursa.
- Açıkgöz, E., 1995. Yem Bitkileri, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. Bursa.
- Alçıçek A, Özkan K. 1996. Silo Yemlerinde destilasyon yöntemi ile süt asidi, asetik asit ve bütirik asit tayini. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 3(2-3): 191-198.
- Alçıçek, A., Özdoğan, M., 1997. Çiftçi koşullarında yapılan mısır ve arpa silo yemlerinde silaj kalitesinin saptanması üzerine bir araştırma. Hayvansal Üretim Ege Zootečni Derneği, 37: 94-102.
- Altınok, S., Hakyemez, H. B., 2002. Ankara koşullarında tüylü fiğ ve koca fiğ in arpa ile karışımlarında farklı karışım oranlarının yem verimlerine etkileri. Ankara Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi. 8:5-50.
- Aydın, İ., Tosun, F., 1991. Samsun ekolojik şartlarında yetiştirilen adi fiğ+bazı tahıl türlerinde farklı karışım oranlarının kuru ot verimine etkileri üzerinde bir araştırma. Türkiye 2. Çayır-Mer'a ve Yembitkileri Kongresi, 28-31 Mayıs, İzmir, 332-340.
- Aykan, Y., Saruhan, V., 2018. Farklı Oranlarda Silolanan yem bezelyesi (*Pisum sativum* L.) ve arpa (*Hordeum vulgare* L.) karışımlarının silaj kalite özelliklerinin belirlenmesi. Dicle Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi. 11(2):64-70.
- Başaran, U., Gülümser, E., Mut, H., Çopur Doğrusöz, M., 2018. Mürdümük +Tahıl Karışımlarının Silaj Verimi ve Kalitesinin Belirlenmesi. Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 6(9): 1237-1242, 2018
- Bengisu, G., 2019. A Study on the silage properties of hungarian vetch (*Vicia pannonica* Crantz.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) grass mixtures in different rates. Legume Reserach 42(5): 680-683.
- Bergen, W.G., Byrem, T.M., Grand, A.L. 1991. Ensiling Characteristics of Whole-Crop Harvested at Milk And Dough Stages. J. Animal Sci., 69:1766-1774.
- Büyükburç, U., Karadağ, Y., 2002. The amount of NO<sub>3</sub>-N transferred to soil by legumes, forage ve seed yield, and the forage quality of annual legume+triticale mixtures. Turk Agric. For. 26:281-288.
- Canale, A., Valente, M.E., Ciotti, A., 1984. Determination of volatile carboxylic acids (C1-C5) and lactic acid in aqueous acid extracts of silage by high performance liquid chromatography. J. Sci. Food Agric., 35: 1178-1182.
- Carr, P.M, Horsley, R.D., Poland, W.W., 2004. Barley, Oat And Cereal-Pea Mixtures As Dryland Forages in The Northern Great Plains. Agronomy Journal. 96(3): 677-684
- Çakmakçı, S., Aydınlioğlu, B., Aslan, M., Bilgen, M., 2005. Farklı ekim yöntemlerinin fiğ (*Vicia sativa* L.) + İngiliz çimi (*Lolium perenne* L.) karışımlarının ot verimine etkisi. Akdeniz Üniv Zir. Fak. Derg., 18 (1): 107-112.
- Demirel, M., Cengiz, F., Erdoğan, S., Çelik, S., 2003. Değişik oranlarda sudanotu ve macar fiğinden yapılan silajların kalitatif özellikleri ve rumende parçalanabilirlikleri üzerine bir araştırma. Turk. J. Vet. Anim. Sci., 27: 853-859.
- Filya, İ., 2001. Silaj Teknolojisi. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü, Bursa.
- Gelir, G. 2018. Diyarbakır Koşullarında Yetiştirilen Yem Bezelyesi (*Pisum sativum* supsp *arvense* L.), Tritikale ve Karışımlarının Silaj Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Homan, E. 2016. Farklı Karışım Oranlarıyla Hazırlanan Mısır ve Soya Silajlarının Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Çalışma. Yüksek lisans tezi, Yüzüncü yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- İptaş, S., Yılmaz, M., 1998. Tokat şartlarında yetiştirilen değişik Macar fiği + arpa karışım oranlarının verim ve kaliteye etkileri. J Anatolia Agri Res Ins, 8 (2): 106-114, 1998.
- Kalaycı, M., 2005. Örneklerle jump kullanımı ve tarımsal araştırma için varyans analizi modelleri, Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, yayın no:21
- Kidambi, S.P., Matches, A.G., Griggs, T.C., 1989. Variability for Ca, Mg, K, Cu, Zn and K/(Ca+Mg) ratio among 3 wheat grasses and sainfoin on the out hurn high plains. Journal of Range Management, 42: 316-322.
- Kung, L., Jr., Stokes, M.R., and Lin, C.J.. 2003. Sialge additives. p. 305-360. In Silage science and technology. Argon. Monogr. 42. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
- McDonald, P., Henderson, A.R., Heron, S.J.E., 1991. The Biochemistry of Silage. 2nd Edition, Chalcombe Publications, Printed in Great Britain by Cambrian Printers Ltd, Aberystwyth, ISBN: 0-948617-22-5, 327p.

- Morrison, J.A., 2003. Hay and pasture management, chapter 8. extension educator, crop systems rock ford extension center. ([http://iah.aces.uiuc.edu/pdf/Agronomy\\_HB/08chapter.pdf](http://iah.aces.uiuc.edu/pdf/Agronomy_HB/08chapter.pdf)), (Erişim tarihi: 19.10.2019).
- Patrick, M.C., Martin, G.B., Caton, J.S., Poland, W.W., 1998. Forage and nitrogen yield of barley-pea and oat-pea intercrops. *Agron J.* 90:79-84.
- Polat, C., Yurtman, İ.Y., Koç, F., Coskuntuna, L., Özdüven, M.L., 1998. Mikrobiyal Katkı Maddesi Kullanımının I. ve II. Ürün Mısır, Fiğ Tahıl Karışımı, Ayçiçeği Silajlarında Fermantasyon Gelişimi ve Aerobik Stabilité Üzerindeki Etkileri. Proje No: VHAG - 1238, s. 79, Tekirdağ.
- Rohweder, D.A., Barnes, R.F., Jorgensen, N., 1978. Proposed hay grading standards based on laboratory analyses for evaluating quality. *Journal of Animal Science*, 47(3): 747-759.
- Sağlamtimur, T., Şilbir, Y., Tansı, V., Okant, M., 1989. Harran ovası koşullarında tüylü fiğın (*Vicia villosa* Roth.) karışım olarak yetiştirilme olanakları üzerinde araştırmalar. *Çukurova ÜZF. Der.* 4 (2):21-30.
- Seydoşoğlu, S., 2018. Farklı Oranlarda Karıştırılan Yem Bezelyesi (*Pisum sativum* L.) ve Arpa (*Hordeum vulgare* L.) Hâsıllarının Silaj Kalitesine Etki Eden Organik Asit Oranlarının Belirlenmesi. Anadolu I. Uluslararası Multidisipliner Çalışmalar Kongresi, 893-898, Diyarbakır.
- Seydoşoğlu, S., 2019a. Farklı Oranlarda Karıştırılan Yem Bezelyesi (*Pisum sativum* L.) ve Arpa (*Hordeum vulgare* L.) Hâsıllarının Silaj ve Yem Kalitesine Etkisi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 56 (3):297-302.
- Seydoşoğlu, S., 2019b. Effects of different mixture ratios of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) on quality of silage. *Legume Reserach*, 42(5): 666-670.
- Seydoşoğlu, S., Gelir, G., 2019. Farklı Oranlarda Karıştırılan Mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) ve Arpa (*Hordeum vulgare* L.) Hâsıllarının Silaj Özellikleri Üzerinde Bir Araştırma. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(1): 397-406.
- Weinberg, Z.G., Ashbell, G., 2003. Engineering aspects of ensiling. *Biochemical Engineering Journal*, 13: 181-188.
- Woolford, M.K., 1984. The silage ferment. *Grassland Research Inst, Hurley, England*, p. 350.



# Yüksek Güç Faktörlü Şebeke Bağlı Bir PV Sistemin Modellenmesi ve Farklı Işınmalar Altında Kontrolü

Erdem Akboy<sup>1\*</sup>

(İlk Geliş Tarihi 30 Eylül 2019 ve Kabul Tarihi 19 Kasım 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.627188)

<sup>1</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-1030-9816)

**ATIF/REFERENCE:** Akboy, E. (2019). Yüksek Güç Faktörlü Şebeke Bağlı Bir PV Sistemin Modellenmesi ve Farklı Işınmalar Altında Kontrolü. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 794-802.

## Öz

Günümüzde gelişen teknolojiye bağlı olarak enerji tüketimi hızla artmakta, buna karşılık enerji kaynakları hızla tükenmektedir. Elektrik enerjisinin üretiminde kullanılan kömür, doğalgaz ve uranyum v.b. yenilenemeyen kaynaklarının kurulumu zordur. Aynı zamanda karbon içeriğine sahip olmaları sebebiyle çevre kirliliğine ve küresel ısınmaya yol açmaktadır. Böylece, güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Özellikle, güneş enerjisinin her daim var olan bir enerji olması sebebiyle daha çok tercih edilmektedir. Güneşten elde edilen enerji ışınımına, panel sıcaklığına ve kirliliğine bağlı olarak değişebilmektedir. Güneş panellerinin çıkışındaki gerilim ve akım arasında nonlineer bir ilişki bulunmakta ve güneşten elde edilen güç sürekli değişmektedir. Bu sebeplerden dolayı, bir güneş panelinden maksimum enerji çekmek üzere Maksimum Güç Noktası Takibi (MGNT) algoritmaları geliştirilmektedir. Bu algoritmalar arasında en yaygın ve uygulaması en kolay olan Sars ve Gözleme (S&G) metodudur. Bu çalışmada, yüksek güç faktörlü şebeke bağlı bir PV sistemin modellenmesi ve farklı ışınmalar altında kontrolü ile şebekeye etkileri incelenmiştir. Sunulan PV sistemi, yükseltici tür dönüştürücü ile tam köprü tür inverterin birleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Sistemin girişinde, istenilen güç ve gerilimi sağlamak üzere PV paneller seri olarak bağlanmıştır. Yükseltici tür dönüştürücü, S&G algoritması ile çalıştırılarak MGNT sağlanmaktadır. Aynı zamanda inverter, Ortalama Akım Mod Kontrol (OAMK) yöntemi ile çalıştırılarak, şebekeye yüksek Güç Faktörü (GF) ile akım verilmesi sağlanmaktadır. Burada her iki devre de analog olarak kontrol edilmektedir. Bu amaçla, 1 kW gücü ve 100 kHz anahtarlama frekansına sahip şebeke bağlı bir PV sistem kurularak, PSIM programı ile simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen sistemde 250 W-1000W/m<sup>2</sup> ışınım özelliklerine sahip 4 eş panel seri bağlanmıştır. Farklı ışınım ve güç değerleri altında sistem çalıştırılarak, sistemin kontrolü ile şebeke etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda farklı koşullar altında hedeflenen sistemin, ilgili kontrol algoritmalarına bağlı olarak hızlı dinamik cevap verme süresine sahip olduğu ve şebeke tarafında her daim yüksek GF elde edildiği gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sars ve gözleme metodu, PV sistem, ortalama akım mod kontrol, yüksek güç faktörü

## Modelling and Control of A High Power Factor Grid Connected PV Sytem Under Varying Irraditions

### Abstract

Nowadays, energy consumption is rapidly increasing due to developing technology, whereas energy resources are rapidly exhausting. The use of non-renewable resources such as coal, natural gas and uranium e.t.c. is difficult and cost for the generation of electricity. At the same time, because of their carbon content, it causes environmental pollution and global warming. Thus, interest in the use of renewable energy sources for instance solar and wind is increasing. Solar energy is especially preferred due to endless and free solar energy. The energy obtained from the sun can vary depending on irradiation, panel temperature and pollution. There is nonlinear relationship between the voltage and current at the output of the solar panels and the power obtained from the sun changes. For these reasons Maximum Power Point Tracking (MPPT) algorithms are being developed to draw maximum energy from a solar panel. Among these algorithms, the most common and easiest application is Perturb and Observe (P&O) method. In this study, modelling and control of a high power factor grid connected solar system under different irradians and their effects on the grid are investigated. The proposed PV system is constructed by combining a boost converter and a full bridge inverter. At the input of the system, there are many serial solar panes to provide the petite power and voltage. The boost converter is operated with P&O algorithm to provide

\* Sorumlu Yazar: Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0002-1030-9816, [erdem.akboy.87@gmail.com](mailto:erdem.akboy.87@gmail.com)



MPPT. At the same time, the inverter is operated with Average Current Mode Control (ACMC) to supply current to the grid with high Power Factor (PF). Here, both converters are controlled analogously. For this purpose, a grid connected PV system with 1 kW and 100 kHz switching frequency was established and simulated with PSIM program. In the developed system, 4 panels with 250W-1000 W/m<sup>2</sup> irradiation properties are connected in series. By operating the system under different irradiation and power values, the control of the system and the effects of the line were examined. In the results obtained, it was observed that under different conditions, the proposed system has a fast dynamic response time depending on the relevant control algorithms and always has high PF on the AC side.

**Keywords:** Perturb and Observe method, PV system, Average current mode Control, High power factor.

## 1. Introduction

Nowadays, due to technological developments and the welfare level of the societies, energy consumption is increasing and energy resources are rapidly exhausting. Using resources such as coal, diesel, oil, natural gas and nuclear e.t.c. as energy sources is difficult and cost by the producers in electricity generation. In addition, due to the carbon content of the relevant resources, it causes problems such as global warming and environmental pollution. Thus, interest in renewable energy sources as solar and wind is increasing gradually. By the virtue of solar energy is an endless source, which makes it more attractive to be used in energy production. So, the attention on the solar energy systems at academic and industrial areas, has been increasing.

A solar power plant consists of several semiconductor PhotoVoltaic (PV) modules. The operation of PV modules is based on the principle that electrons gain energy when light is applied to them. Thus, basically in a PV system, solar energy is turned into electrical energy in PV modules, directly. This makes PV systems to be considered the most efficient and well-accepted renewable system. Although a PV system has many advantages, there are many problems. The power which is generated by PV depends upon the solar irradiation, panel temperature, panel pollution and load impedance. Also, the output characteristics of the PV module (V-I) is nonlinear, especially under partial shading conditions, which causes only one maximum power point at P-V curve. For these reasons, it is necessary to tracking the maximum power point in order to benefit from each PV system at the highest efficiency. For this purpose, several Maximum Power Point Tracking (MPPT) methods are built up. At these methods output can be fed with maximum power from solar input by converters. Thus, Cuk converter (Sahu et al, 2014), buck converter (Gosumbonggota, 2016) and boost (Chowdhury et al, 2017) converters are used to achieve MPPT. In terms of PV, boost converter is more attractive because constant current can be drawn from its input.

P&O method proposes to track MPP of the PV module by using fixed perturbation value. At this algorithm, the output characteristics ( $V_{PV}$ - $I_{PV}$ ) are measured and the output power ( $P_{PV}$ ) is calculated of the PV module. If the variation of the  $V_{PV}$  and  $P_{PV}$  at the same direction, the perturbation, or the next value of the  $V_{PV}$ , is increased. Otherwise next value of  $V_{PV}$  is decreased. This operation cycle continues to catch the MPP, periodically. So, it causes to oscillations around the MPP and it leads more losses. Also, response time of the algorithm can change due to the perturbation value. Large step size can yield fast response time but more oscillations. The good solution can be achieved by small step sizes but the tracking speed get slow (Liu and Lopez, 2004). Many new P&O methods have being developed in order to eliminate these disadvantages and achieve effective solution.

In study of (Liu and Lopez, 2004), it is aimed to accelerate the response time of the P&O system with smaller perturbation steps by peak current control method. Similarly, in the study (Jung et al, 2005) and (Sharma and Purobit, 2012), it is aimed to reduce oscillations with small perturbation steps against variable weather conditions by hysteresis current control. In (Abdourraziq et al, 2014), a new algorithm is presented with variable perturbation steps to track fast. Similar to (Abdourraziq et al, 2014), in (Jiandong et al, 2018), a new algorithm with variable perturbation steps is presented with grid tie PV inverter system. At this system, the frequency is low and Power Factor (PF) is not referred. Also, the behavior of the system under different power conditions is not studied.

In this study, a high PF grid connected PV system modelling and control under different irradiations and their effects on the grid are presented. The proposed PV system is constructed by combining the DC-DC boost converter and the full bridge inverter. At the entrance of the system, PV panels are connected in series to provide the petitive power and voltage. The boost converter is operated with the P&O algorithm to provide MPPT. At the same time, the inverter is operated with Average Current Mode (ACM) to supply sinusoidal current to the grid with high PF. Here, both circuits are controlled analogously with fast dynamic response time. For this purpose, a grid connected PV system with a power of 1 kW and a switching frequency of 100 kHz was installed and simulated with the PSIM program. In the developed system, 4 PV panels with 250 W-1000W / m<sup>2</sup> radiation properties are connected in series. By operating the system under different irradiation and power values, the control of the system and the effects of the line were examined. In the results obtained, it was observed that under different conditions, the proposed system has a fast dynamic response time depending on the relevant control algorithms and always has high PF on the AC side.

## 2. Motivation and Background

### 2.1. Basic Principle of PV

PV generation systems consist of PV cells. Besides, each PV cell consists of large area p-n junctions. When sunlight strikes on this semiconductor, the free electrons in the n junction gain energy. Through the electrons gaining energy, hole-electron pairs are formed throughout the structure. Thus, the electron-hole redundancy that occurs through the whole structure, allows current to flow through the p-n junction and generate electricity.

## 2.2. PV Module Analysis

An equivalent case of a PV cell is given in Fig.1. At this figure,  $I_{PC}$  is the cell current, which is generated directly by the sun light,  $D$  is the diode equivalent to p-n junctions,  $R_S$  is the serial and  $R_{SH}$  is the parallel equivalent resistors,  $I_{PV}$  and  $V_{PV}$  are output current and voltage of the PV module, respectively.

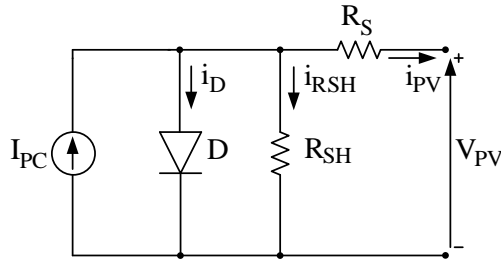


Figure 1. Equivalent PV model

The PV module should be implemented from the mathematical model in equations, which are derived from the equivalent circuit given in Fig. 1.

$$I_{PV} = I_{PC} - I_D - I_{RSH} \quad (1)$$

$$I_{PC} = I_{SCO} \frac{S}{S_0} + C_t (T - T_{ref}) \quad (2)$$

$$I_D = I_O \left( e^{\frac{qV_d}{AK_sT}} - 1 \right) \quad (3)$$

$$I_O = I_{SO} \left( \frac{T}{T_{ref}} \right)^3 e^{\frac{qE_g}{A} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right)} \quad (4)$$

$$T = T_a - k_s S \quad (5)$$

$$I_{RSH} = \frac{V_{PV} + I_{PV} R_S}{R_p} \quad (6)$$

At these equations,  $S$  is the light intensity,  $S_0$  is the light intensity under test conditions, especially under  $1000 \text{ W/m}^2$  irradiation,  $E_g$  is band energy,  $T_a$  is room temperature,  $I_O$  is reverse saturation current,  $C_t$  is temperature coefficient,  $T_{ref}$  is temperature under standart test conditions,  $q$  is electron charge ( $1,6 \cdot 10^{-16} \text{ C}$ ),  $A$  is ideality factor,  $I_{SCO}$  is short circuit current of each solar cell at  $T_{ref}$ ,  $K_s$  describes how the light intensity affects the cell temperature,  $k_s$  is Boltzman constant ( $1,3806505 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ ). So, the output characteristics of the PV such as I-V and P-V curves depend on the internal characteristics of the solar module and on outside influences such as the temperature and irradiation level as given in Fig. 2. (Christopher and Ramesh, 2013 )

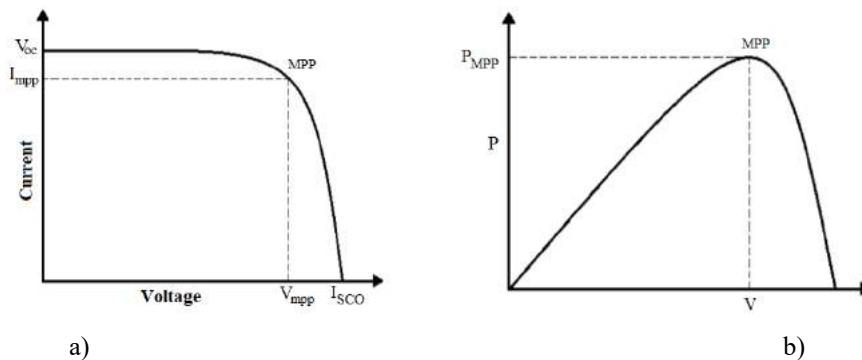


Figure 2. The output characteristics of the PV a) V-I and b) P-V curves

## 2.2. Boost Converter

A boost converter circuit scheme is given in Fig 3.This converter combines of  $L_b$ ,  $S_b$  and  $D_b$ . At this converter,  $V_{in}$  and  $V_{out}$  are input and output voltages, respectively. The relationship between input and output is given as below.

$$V_{out} = \frac{1}{(1-D)} V_{in} \quad (7)$$

In this equation,  $D$  refers the duty cycle of the converter.

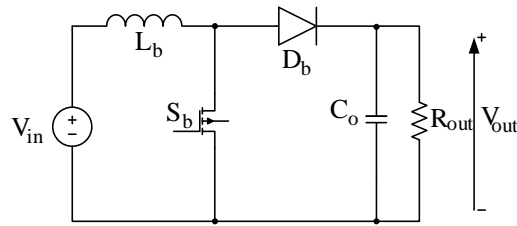


Figure 3. The circuit scheme of conventional boost converter

In this circuit either  $S_b$  or  $D_b$  is on state under ideal conditions. So, there are two operation modes. When the switch is on state, diode is off state and  $L_b$  is charged via input, the load is fed by  $C_o$ . When the diode is on state, the switch is off state and input and  $L_b$  transfer their energies to the output together. At this converter, semiconductors are exposed to output voltage.

Most PV systems require a large capacitor at the output in parallel with panel to achieve low voltage ripple. However, the large capacitor reduces the dynamic response of the MPPT systems according to varying atmospheric conditions (Liu and Lopes, 2004). In conventional boost converters inductance is at the input, the input current remains constant and ripples of the input voltage are low. This provides ease of the control, system reliability and minimum size capacitor.

### 2.3. Full Bridge Inverter

Inverters convert DC input to AC output. For this purpose, the DC voltage is applied to the output as positive in the first half and negative in the second half. Sum of the time duration of these periods gives the inverter operation frequency. So, at the grid connected systems, the frequency is equal to the line frequency. A conventional grid tied full bridge inverter scheme is given in Fig 4. In this figure,  $V_d$  is input voltage,  $S_1$  and  $S_3$  are positive and  $S_2$  and  $S_4$  are negative switches,  $i_{ac}$  and  $v_{ac}$  are line current and voltage, respectively.  $L_{ac}$  is the filter inductance to smooth line current.

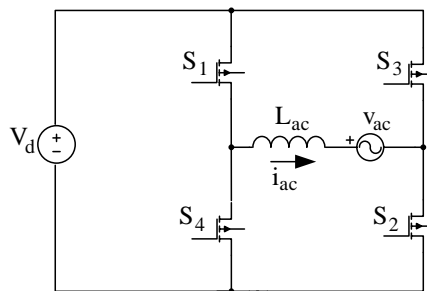


Figure 4. The circuit of the conventional grid tied full bridge inverter

In principle, there are two operation modes for this inverter.  $S_1$  and  $S_2$  are on state in the first half of  $v_{ac}$  and  $i_{ac}$  is positive.  $S_3$  and  $S_4$  are on state in the second half of  $v_{ac}$  and  $i_{ac}$  is negative. There is dead time between positive and negative term semiconductor control signals to avoid short circuit of DC line. Also, switches are exposed to input voltage at this inverter scheme.

## 3. Control Techniques

### 3.1. Perturb and Observe Method (P&O)

Perturb and Observe (P&O) method is the most known MPPT method. In principle, P&O algorithm takes output voltage and power data of the PV periodically, and operates by perturbing the panel output voltage according to the variance in these data. The flowchart and the truth table of implementation of P&O algorithm are given in Fig. 5 and Table 1, respectively. This algorithm increases or decreases the output voltage of PV panel according to previous perturbation cycle.

Table 1. The operation table of P&O Algorithm

Variation of Power	Variation of Voltage	Direction of Next Step
+	+	+
+	-	-
-	+	-
-	-	+

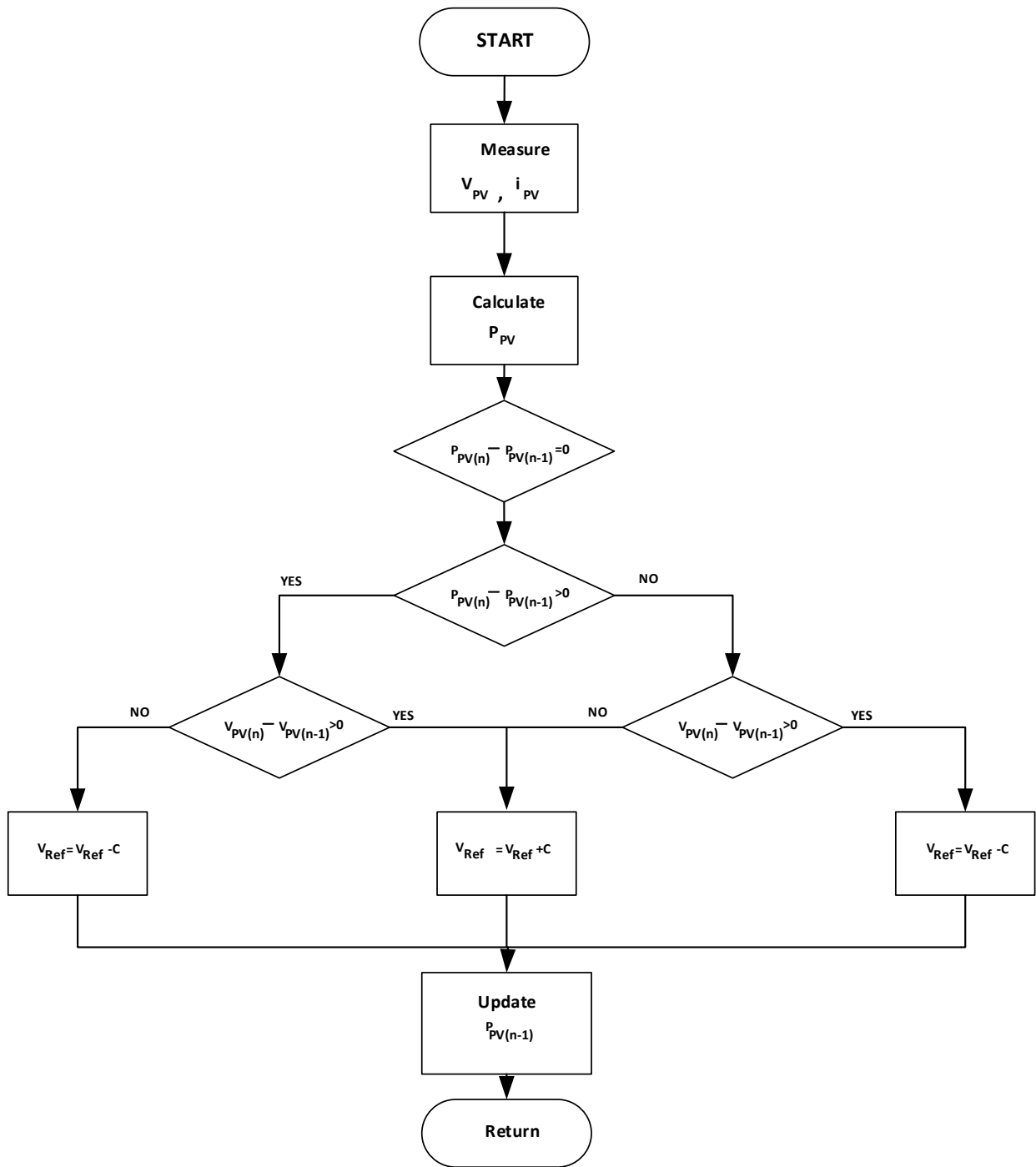


Figure 5. The conventional P&O algorithm

This algorithm has some drawbacks. After the algorithm reaches the maximum power point, oscillations occurs on the MPP continuously, according to constant or varying atmospheric conditions. These oscillations cause power loss and low efficiency. This problem can be achieved with a solution by decreasing the perturb rate, but, the tracking response may get slower. So, the optimum solution can be achieved by selecting suitable perturbation step. Thus, at this algorithm, a modulation signal for the PWM with choosing about %10 of the switching frequency is provided. For this purpose, the error is processed by a PI controller between the ref. and real average amount of the PV output terms (Liu and Lopes, 2004).

### 3.2. Average Current Mode Control

Average Current Mode Control (ACMC) is generally used in Power Factor Correction (PFC) converters. Briefly, this control is intended to settle the actual sensed inductance current at a predetermined current value under constant frequency. So, it requires current amplifier circuit. Also, this control method provides the line current to be in Continuous Current Mode (CCM). The control scheme block diagram is given as follows.

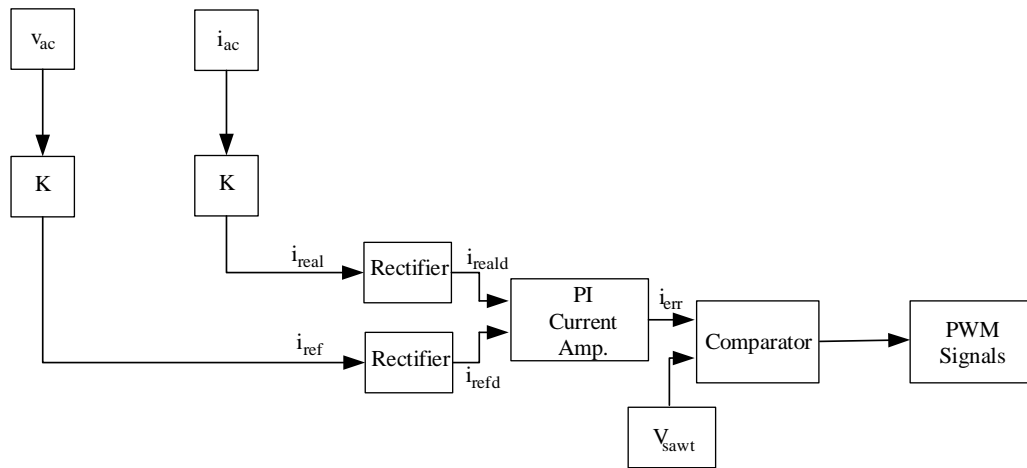


Figure 6. The block diagram of ACMC for grid tied inverters

It can be seen from the figure that it requires two control loops as voltage and current. At grid tied inverter applications, the line voltage ( $v_{ac}$ ) is sensed firstly to determine reference current value ( $i_{ref}$ ) of the control. Then, the sensed voltage is rectified via diodes and rectified current reference ( $i_{refld}$ ) is obtained. Besides, the real inductance or line current is sensed with a suitable current sensor ( $i_{real}$ ) and rectified ( $i_{reald}$ ). The current error ( $i_{err}$ ) is obtained by passing the measured and determined current values through the current amplifier circuit. This error is compared with sawtooth or triangular waveform ( $v_{sawt}$ ) whose frequency is equal to switching frequency to obtain PWM signals. The current waveform of the line according to this control method is as follows.

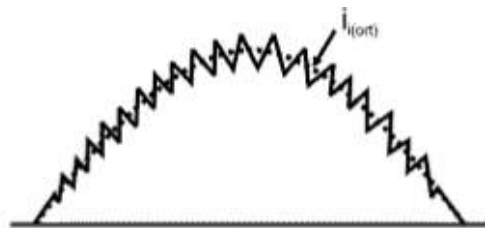


Figure 7. The waveform of the line current with ACMC

#### 4. Simulation Results

The block scheme of the proposed grid tied solar system is given in Fig. 8. At this system, MPPT can be provided by P&O algorithm via boost converter. Besides, high PF can be provided by ACMC via full bridge inverter.

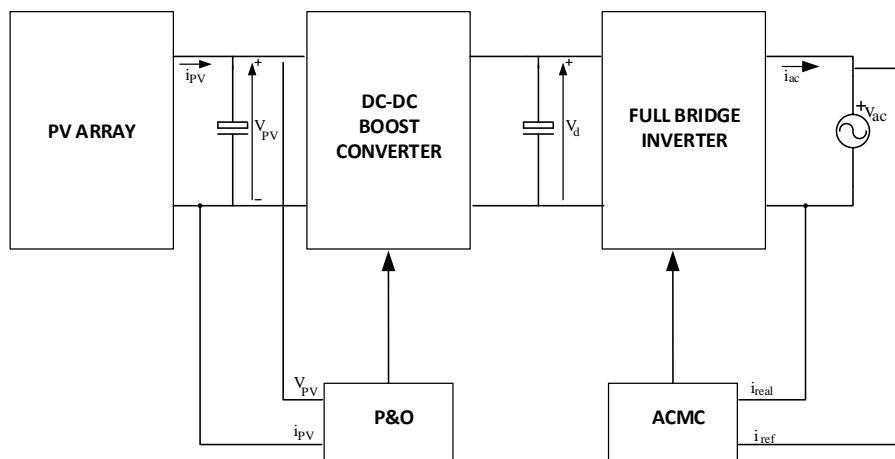


Figure 8. The block scheme of the proposed grid tied PV system

The circuit scheme of the grid tied inverter is given in Fig. 9 with using PSIM simulation programme. The PV module parameters are given in Table 2 under  $1000W/m^2$  irradiance and  $25^\circ C$  temperature. In this circuit four PV modules are connected serial to obtain 1 kW.



Table 2. The Parameters of PV Module

Definition	Parameter	Value
--	Number of cells	72
Nominal power of module	$P_{nom}$	220W
Maximum power of module	$P_{max}$	236,64 W
Open circuit V.	$V_{OC}$	52,3 V
Voltage at max. P.	$V_{max}$	42,7 V
Short circuit current	$I_{SC}$	5,65 A
Current at max. P	$I_{max}$	5,17 A

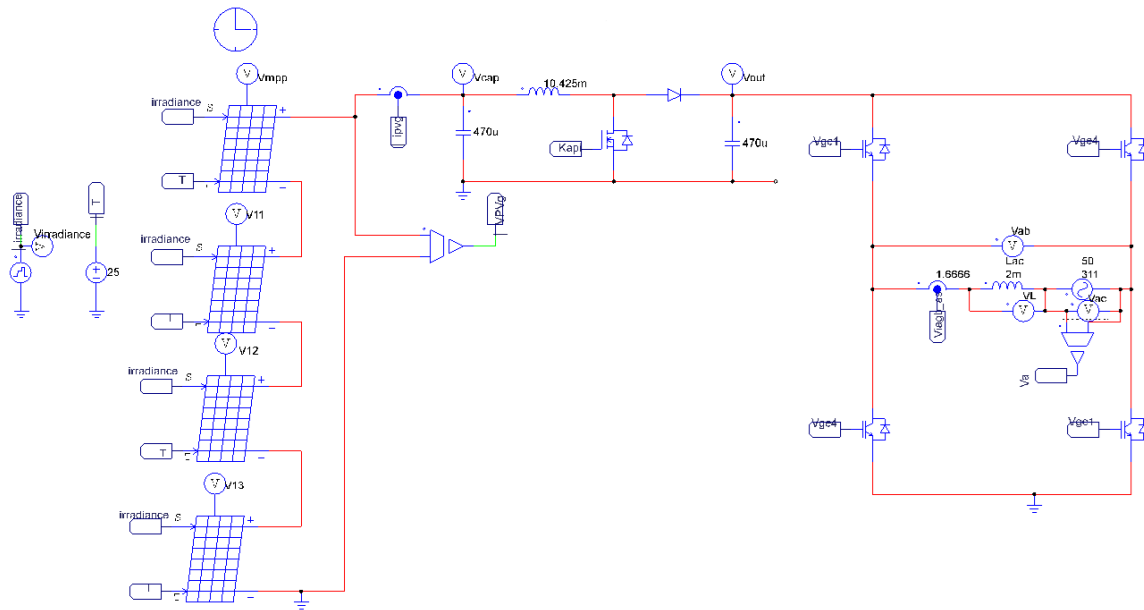


Figure 9. The circuit scheme of the proposed grid tied PV system in PSIM

At this converter, variation in irradiation has been done for specific rate of iteration ( $C=0.3$  V) and thus tracking of power is achieved in DC side and high PF is achieved with AC/DC in the AC side. For a more detailed analysis, the system has been tested based on varying irradiancies at specific time intervals. In the first test, the irradiation values are increased from  $200 \text{ W/m}^2$  as follows. AC line current waveform is given in Figure 10. It can be seen from this figure, the system response for varying irradiancies is better at higher values. In low irradiation values system can not achieve high PF, although MPPT can be achieved. PF above  $600 \text{ W/m}^2$  is 0,99 and line current THD is %3.

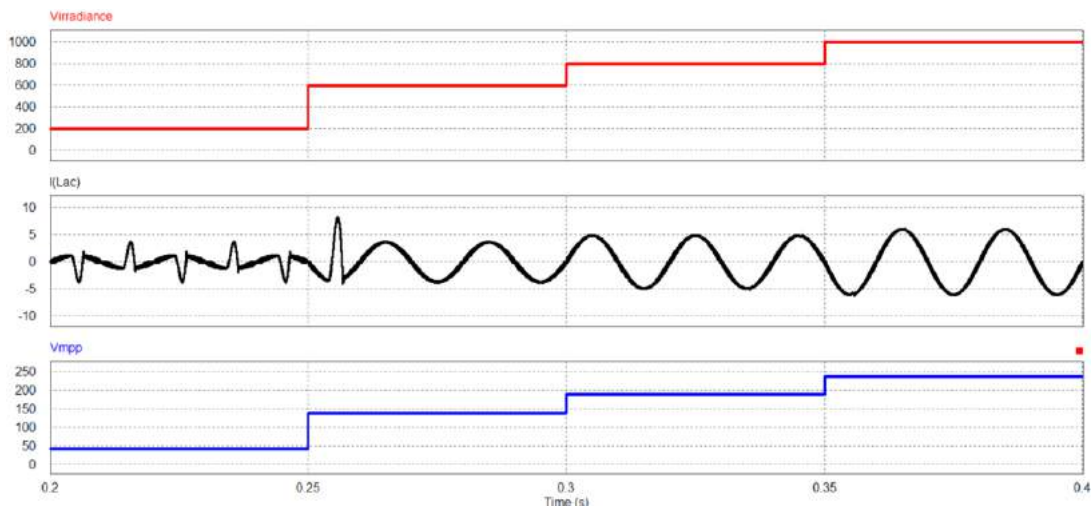


Figure 10. The AC line current under increasing irradiation values

In the second test, the irradiation values are decreased from 1000 W/m<sup>2</sup> as follows and AC line current waveform is given according to varying irradiation. It can be seen from this figure, the system response is better than increasing values. PF for all irradiation values is 0,99 and MPPT is achieved perfectly.

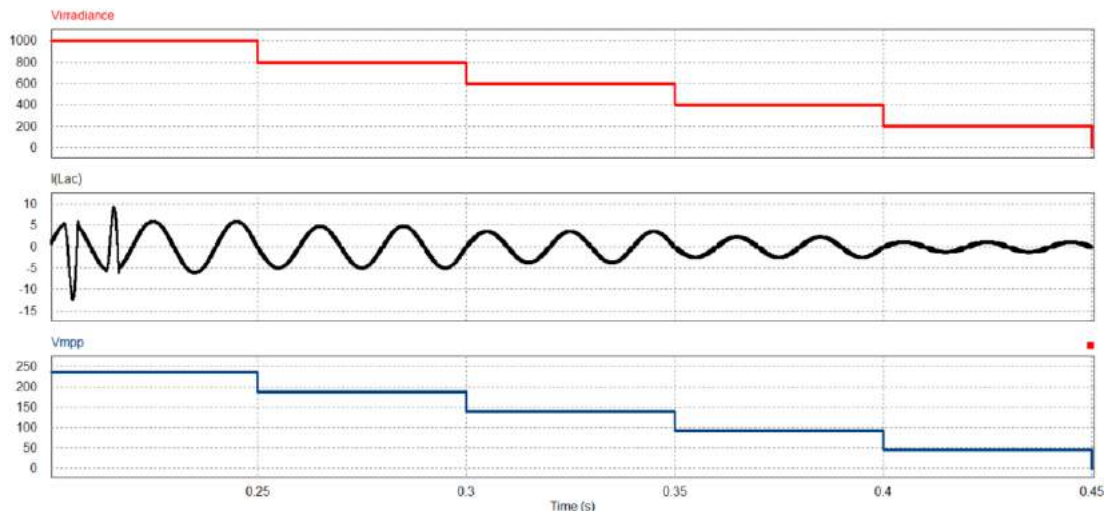


Figure 11. The AC line current under decreasing irradiation values

In the third test, the irradiation values are increased and decreased as follows and AC line current waveform is given according to varying irradiation. It can be seen from this figure, the system response is better for both conditions. This is suitable for partial shading conditions. PF for all irradiation values is 0,99 and MPPT is achieved perfectly.

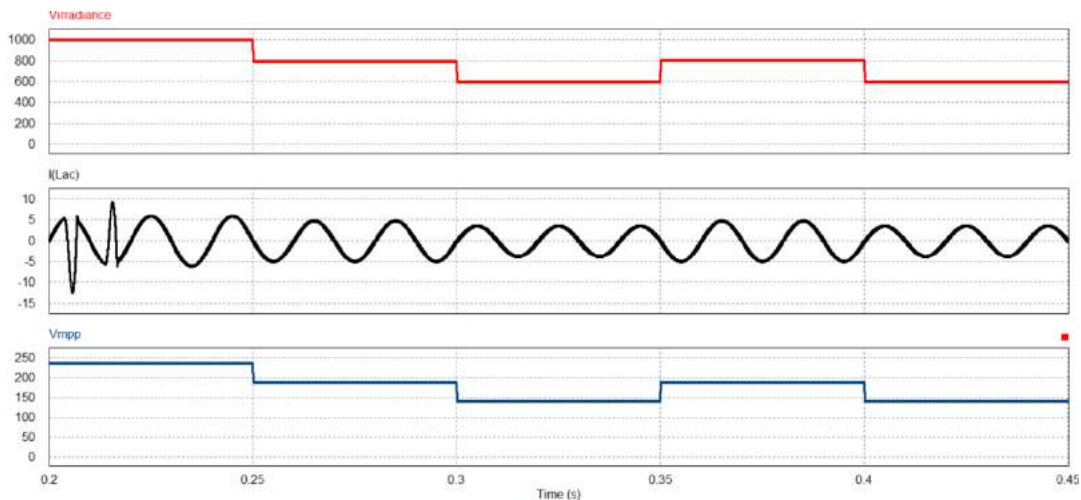


Figure 12. The AC line current under increasing/decreasing irradiation values

## 5. Conclusion

Solar energy is especially preferred due to endless and free solar energy. The energy obtained from the sun can vary depending on irradiation, panel temperature and pollution. In this study, a high PF grid connected PV system model and control of under different irradiancies and their effects on the grid are presented. The proposed PV system is constructed by combining a boost converter and a full bridge inverter. The boost converter is controlled by P&O algorithm to provide MPPT and the inverter is controlled with ACMC to achieve high PF in the AC side. Both control algorithms are achieved analogously. To define the performances of the control algorithms, three tests are applied according to varying irradiancies. For this purpose, the comparative analysis for a grid connected solar system with 1 kW power and a switching frequency of 100 kHz was installed and simulated with the PSIM program. Here, fast dynamic response time under varying irradiancies are achieved under three test conditions. Also, at this proposed converter, low THD values are obtained for line current. So, both control algorithms can be applied together to achieve MPPT and high PF.

## References

- T. P. Sahu, T. V. Dixit and R. Kumar, "Simulation and analysis of perturb and observe MPPT algorithm for PV array CUK converter," *Advance in Electronic and Electrical Engineering*, vol.4, no. 2, pp. 213-224, 2014

- Z. Erdem, "A review of MPPT algorithms for partial shading conditions", in *Special Issue of the 3rd International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering*, 2016, Turkey, pp.1128-1133, doi:10.12693/APhysPolA.132.1128
- A. Chowdhury, T. Rout and Prof. S.Samal," Analysis of perturbation and observation technique used in maximum power point tracking for photovoltaic systems", *International Journal of Engineering Technology Science and Research*, vol.4, no. 11, pp. 99-105, 2017.
- M. Engin and T. Gülersoy," Hibrid güç sistemleri için evirici tasarımı," *European Journal of Science and Technology*, no. 14, pp. 228-234, 2018. doi: 10.31590/ejosat.429365.
- B. N. Alajmi and F. A. Alkandari, "Modified perturbation and observation technique for partially shaded photovoltaic systems in microgrids", *Journal of Clean Energy Technologies*, vol.4, no.1, pp. 32-35. doi: 10.7763/JOCET.2016.V4.249.
- K. Kobayashi, I. Takano and Y. Sawada, "A study on a two Stage maximum power point tracking control of a photovoltaic system under partially shaded insolation conditions," in *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, vol. 4, 2003, Canada, pp. 2612-2167, doi: [10.1109/PES.2003.1271058](https://doi.org/10.1109/PES.2003.1271058)
- X. Liu and L. A. C. Lopes," An improved perturbation and observation maximum power point tracking algorithm for PV arrays" in *IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference*, 2004, Germany, pp.2005-2010. doi: [10.1109/PESC.2004.1355425](https://doi.org/10.1109/PESC.2004.1355425).
- L. Ch.-xia and L. Li-qun, "An Improved Perturbation and Observation MPPT Method of Photovoltaic Generate System," in *4th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, 2009, China, pp. 2966-2970, doi: [10.1109/ICIEA.2009.5138752](https://doi.org/10.1109/ICIEA.2009.5138752).
- A. Ajder, A. Durusu and İ. Nakir, "Impact of Climatic Conditions on PV Array's Optimum Tilt Angle," *European Journal of Science and Technology*, No. 13, pp. 84-90, 2018. Doi: 10.31590/ ejosat.418559.
- P. Sivachandran, D. Lakshmi and R. Janani, "Survey of maximum power point tracking techniques in solar PV system under partial shading conditions," *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol.10, no.1, 2015, pp. 256-264.
- Y. Jung., J. So, G. Yu, J. Choi," Improved perturbation and observation method (IP80) of MPPT control for photovoltaic power systems," in *Conference Record of the Thirty-first IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 2005, USA, pp. 1788- 1791 Doi: [10.1109/PVSC.2005.1488498](https://doi.org/10.1109/PVSC.2005.1488498).
- D. K. Sharma and G. Purohit, "Advanced Perturbation and Observation (P&O) based Maximum Power Point Tracking (MPPT) of a Solar Photo-Voltaic System," in *IEEE 5th India International Conference on Power Electronics (IICPE)*, 2012, India, doi: [10.1109/IICPE.2012.6450411](https://doi.org/10.1109/IICPE.2012.6450411).
- M. A. Abdourraziq, M. Ouassaid, M. Maaroufi, S. Abdourraziq," Modified P&O MPPT technique for photovoltaic systems," in *International Conference on Renewable Energy Research and Applications*, 2014, Spain, pp. 728-733, doi: [10.1109/ICRERA.2013.6749849](https://doi.org/10.1109/ICRERA.2013.6749849).
- P. U. Mankar and R.M. Moharil, "Comparative analysis of the perturb and observe and incremental conductance MPPT methods," *International Journal of Research in Engineering and Applied Sciences*, vol.2, no.2, pp. 60-66, 2014.
- M. A. Elgendy, B. Zahawi and D. J. Atkinson," Evaluation Of Perturb And Observe Mppt Algorithm Implementation Techniques", in *IEEE conf. on Renewable energy conversion*, 2009, Bristol, pp. 1-6. doi: [10.1049/cp.2012.0156](https://doi.org/10.1049/cp.2012.0156).
- D.Jiandong, X. Ma and S.Tuo, "A variable step size P&O MPPT algorithm for three-phase grid-connected PV systems," in *China International Conference on Electricity Distribution*, 2018, China, pp. 1997-2001, doi: [10.1109/CICED.2018.8592040](https://doi.org/10.1109/CICED.2018.8592040).
- M. L. Azad, S. Dasb, P. K. Sadhu, B. Satpati , A. Guptab, P. Arvindb, "P&O algorithm based MPPT technique for solar PV System under different weather conditions," in *International Conference on circuits Power and Computing Technologies*, 2017, India, Doi: [10.1109/ICCPCT.2017.8074225](https://doi.org/10.1109/ICCPCT.2017.8074225).
- I. W.Christopher and Dr. R. Ramesh, "Comparative study of P&O and InC MPPT algorithms," *American Journal of Engineering Research (AJER)*, vol.2, no.12, pp.402-408, 2013.
- T. Esram, and P. L. Chapman, "Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 22, no.2, pp. 439 – 449, 2007.doi: [10.1109/TEC.2006.874230](https://doi.org/10.1109/TEC.2006.874230).
- J. Gosumbonggota," Maximum power point tracking method using perturb and observe algorithm for small scale DC voltage converter," in *International Electrical Engineering Congress*, Karachi, 2016, doi: 10.1016/j.procs.2016.05.065



# An Assessment of Radiation Protection and Shielding Properties of 256 Slice Computed Tomography (CT) Facility: Intermed Nisantasi

Baris Cavli<sup>1\*</sup>, Ceren Ozturk<sup>1</sup>, Fuat Şahintürk<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Affidea, Istanbul, Turkey (ORCID: 0000-0002-3494-8858)

(First received 1 November 2019 and in final form 21 November 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.645101)

**ATIF/REFERENCE:** Cavli, B., Ozturk, C. & Şahintürk, F. (2019). An Assessment of Radiation Protection and Shielding Properties of 256 Slice Computed Tomography (CT) Facility: Intermed Nisantasi. *European Journal of Science and Technology*, (17), 803-806.

## Abstract

**Background:** The distance factor is one of the fundamental principles of radiation protection. In CT facilities, maximum dose consists near the CT gantry and dose rate is decreases by distance. To know the rate of reduction of the radiation dose that distance is very important for radiation protection procedure especially for apply criterias of International Commission on Radiological Protection (ICRP) on radiation protection.

**Materials and Methods:** This technical paper aimed to investigate the backscattered dose amount from 256 Slice CT device (Philips iCT) for verification of radiation protection measures in Intermed Nisantasi CT facility and also to evaluate the shielding properties of walls of operating room and patient waiting room during the abdominal CT scan. This technical study has been performed in Intermed Nisantasi. In this study, we measured the dose rates from the gantry until exit door and behind the door.

**Results:** The results showed that, backscattered dose amount has decreased by distance. We obtained only background radiation in radiographer room and patient waiting room. The results also showed that radiation protection requirements are maximized in investigated CT facility.

**Conclusion:** It can be concluded that, recent method can be applied for various CT facilities for optimum radiation protection studies which also in discussion with ICRP and IAEA for better radiation protection and shielding in radiology clinics.

**Keywords:** Radiation Protection; CT; Radiation Shielding

## 256 Kesitli Bilgisayarlı Tomografi (CT) Çekim Alanının Radyasyondan Korunma ve Koruyucu Özelliklerinin Değerlendirilmesi: Intermed Nişantaşı

### Öz

**Arka plan:** Uzaklık faktörü, radyasyondan korunmanın temel ilkelerinden biridir. BT alanlarında, maksimum doz CT portalına yakındır ve saçılan doz oranı mesafeye göre azalır. Radyasyon dozunun azalma oranının bilinmesi, özellikle radyasyondan korunma üzerine Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonu (ICRP) kriterlerini uygulamak ve radyasyondan korunma prosedürü için oldukça önemlidir.

**Gereç ve Yöntem:** Bu teknik çalışma, Intermed Nişantaşı BT tesisinde radyasyondan korunma önlemlerinin doğrulanması için 256 Slice CT cihazından (Philips iCT) abdominal BT taraması sırasında geri saçılan doz miktarını araştırmayı ve ayrıca ameliyathane ve hasta bekleme odasının duvarlarının koruyucu özelliklerini değerlendirmeyi amaçlamıştır. Bu teknik çalışma Intermed Nişantaşı'nda yapıldı. Bu çalışmada, portaldan çıkış kapısına ve kapının arkasına kadar olan doz oranları ölçülmüştür.

**Sonuçlar:** Sonuçlar, geri saçılan doz miktarının mesafe ile azaldığını göstermiştir. Radyografide ve hasta bekleme odasında sadece arkaplan radyasyon elde edilmiştir. Sonuçlar ayrıca, araştırılan BT tesisinde radyasyondan korunma gereksinimlerinin en üst düzeye çıkarıldığını göstermiştir.

**Öneriler:** Radyoloji kliniklerinde daha iyi radyasyon koruması ve korunması için ICRP ve IAEA ile tartışılan optimum radyasyon koruma çalışmaları için çeşitli BT tesisleri için mevcut araştırma yöntemlerin uygulanabileceği sonucuna varılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Radyasyondan Korunma; CT; Radyasyon Zırhlaması

\* Corresponding Author: Affidea, Istanbul, Turkey, ORCID: 0000-0002-3494-8858, [baris.cavli@affidea.com](mailto:baris.cavli@affidea.com)

## 1. Introduction

Computed Tomography (CT) scans provides a group of X-ray images achieved via various angles to establish the cross-sectional images of examined patient. CT can be utilized especially for bones scans, blood vassels as well as soft tissues. As a comparison between two device, achieved anatomical data from the patient by using CT is much more higher then the normal plain X-ray device. Since CT uses different amount dose of X-rays for imaging of body, the term of radiation protection became a vital topic during the medical applications. Computed tomography (CT) is an imaging method that produces cross-sectional images by representing in each pixel the local X -ray attenuation properties of the body. Since the introduction of helical computed tomography (CT) in the early 1990's, the technology and capabilities of CT scanners have changed tremendously. By the developing technology on diagnostic devices, procedures are performing with detailed informations about patient. In CT examination, patient is placed between the source and detector and the detector is configured with its geometric center located at the x-ray source. In addition to various benefits of medical imaging by using CT, of course there is some risk groups associated with the x-ray radiation exposure. The possibility for absorbed X-rays to cause cancer or inheritable mutations leading to genetically associated diseases in offspring is thought to be very small for radiation doses of the magnitude that are associated with CT process. Under some rare circumstances of prolonged, high-dose exposure, x rays can cause other adverse health effects, such as skin erythema), skin tissue injury, and birth defects following in-utero exposure. There is some considerable absorbed dose rates from CT scan. Table 1. shows the dose a patient could receive during the procedure [1]. As it can be seen from the Table 1, radiation dose rates should be considered as which would cause biological effects. High-radiation exposure occurs during computed tomographic (CT) fluoroscopy [2]. This high rate of radiation is a condition that acceptable to the patient because of imaging procedure but we have to consider one other case that radiation dose around CT device that can be effect the CT operator or other staff. For the CT operator, exposure is primarily a function of scattered radiation and collimator or gantry leakage [3]. In past several years, some work has been done on this subject [4-7]. This technical paper aimed to investigate the backscattered dose amount from 256 Slice CT device (Philips iCT) for verification of radiation protection measures in Intermed Nisantasi CT facility and also to evaluate the shielding properties of walls of operating room and patient waiting room during the abdominal CT scan. This technical study has been performed in Intermed Nisantasi. In this study, we measured the dose rates from the gantry until exit door and behind the door.

*Table 1. Effective dose rates due to examination*

<b>Examination</b>	<b>Effective Dose (mSv)</b>
IVP	2.5
Barium Swallow	1.5
Barium Enema	7.0
CT Head	2.0
CT Chest	8.0
CT Abdomen	10.0
CT Pelvis	10.0
Angioplasty	7.5 – 57.0
Coronary Angiogram	4.6 - 15.8

## 2. Material and Method

In this study, we performed the measurements in CT device room, radiographer room and patient waiting room, respectively. Experimental measurements were obtained in the processes performed by Philips iCT 256 Slice CT device for the same imaging parameters of CT Abdominal examinations which often performing by 120 kV. As a first step, we performed the measurements for 8 different location from CT gantry until exit door. Figure 1 represents the measurements locations according to the position of the gantry. In figure 1. I is location of patient door, J is location of control room for radiographers. Moreover, the measurements points have been presented from A to H, respectively. The measured dose values are given in table 2 with the ID of measurement points. All the dose measurements are performed by using the Polimaster Survey Meter (PM1405) shown in figure 2. Polimaster Survey Meter is compact multifunction and capable of measuring x-ray, gamma and beta radiation. We performed the simultaneous and selective measurement of the x-ray radiation intensity by using PM1405 during Abdominal CT examinations. In this study, all the measurements were performed by using user interface of PM1405 in operating room by remote control with personal computer which comes with detector. Thus, no radiation risk has occurred during the measurements.



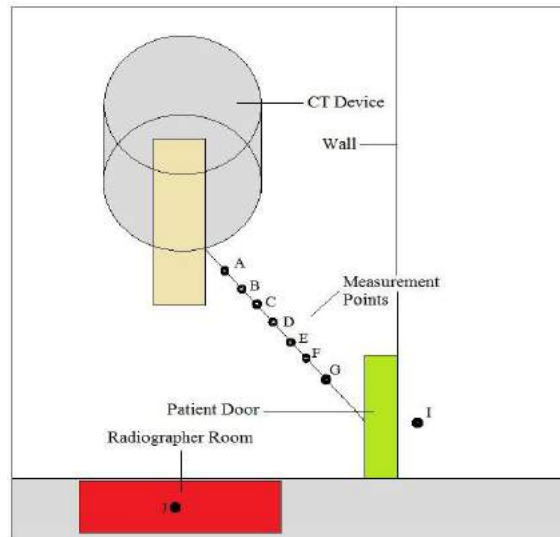


Figure 1. Schematic view of CT room

Table 1. Distance and dose rates

Examination	kV	Distance	Average Measured Dose (mSv/h)	ID.
CT Abdominal	120	20	48,5	A
CT Abdominal	120	70	13,2	B
CT Abdominal	120	120	8,5	C
CT Abdominal	120	170	2,9	D
CT Abdominal	120	220	1,95	E
CT Abdominal	120	270	1,24	F
CT Abdominal	120	320	1,08	G



Figure 2. Polimaster Survey Meter PM1405

### 3. Results and Discussion

We performed our measurements in eight different points from the gantry by increasing 50 cm in each measurements. In addition, we measured the dose amounts in radiographer operation room (I) and patient waiting room (h), respectively. We considered the average dose rates in each distance. Table 2 gives the type of examination and kV values in different distances and the obtained dose values, respectively. Gamma radiation is the part of the electromagnetic spectrum. A gamma radiation ray not absorbed by the air, but its intensity decreases because it spreads out. Accordingly, the intensity changes with the inverse square of distance: it follows an inverse square law. As we see from the table 2, the dose rates decreased by the increased distance from CT gantry. Considering clinical parameters, we also measured the dose rates in radiographer room and behind the patient door. The measurements showed that, a average dose amount was between 0.07 mSv/h, in both places. This value has been obtained as a background radiation around the hospitals. Therefore, it can be said that wall shielding of the radiographer room and the patient waiting room have provided maximum radiation protection considering the optimum radiation shielding requirements.

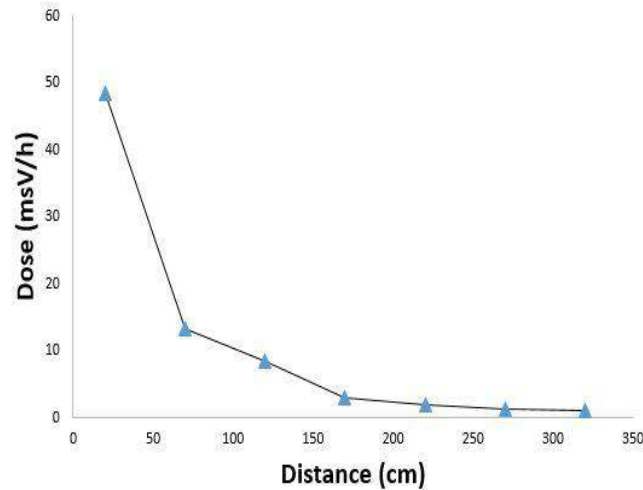


Figure 3. Comparison of distance and dose distribution

## 4. Conclusions

The term of radiation protection and radiation shielding for ionizing radiation have achieved great importance especially by new generation shielding materials and dose reduction techniques. This study clearly showed that, radiation protection requirements and shielding properties in investigated hospitals are significantly optimized. It can be concluded that, recent method can be applied for various CT facilities for optimum radiation protection studies which also in discussion with ICRP and IAEA for better radiation protection and shielding in radiology clinics.

## References

1. Wall, B. F., Hart, D., (1997). Revised radiation doses for typical x-ray examinations. *The British Journal of Radiology*, 70: 437-439.
2. Neeman, Z., et.al., (2006). CT Fluoroscopy Shielding Decreases in Scattered Radiation for the Patient and Operator. *J Vasc Interv Radiol*, 2006 Dec; 17(12):. (1999–2004).
3. Stoeckelhuber, B. M., Leibecke, T., Schulz, E., et al., (2005). Radiation dose to the radiologist's hand during continuous CT fluoroscopy-guided interventions. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 28:589–594
4. Richard, D., et.al., (2000). Patient and Personnel Exposure during CT Fluoroscopy-guided Interventional Procedures. *RSNA Radiology V*. 216 (1).
5. Every, V., Petty, R. J., (1992). Measurements of computed tomography radiation scatter. *Australas Phys.Eng. Sci. Med.*, 15(1) pp.15-24.
6. Stoeckelhuber, B. M., Leibecke, T., Schulz, E., et al. (2005). Radiation dose to the radiologist's hand during continuous CT fluoroscopy-guided interventions. *Cardiovasc Intervent Radiol*. 28: pp. 589–594.
7. Salvado, M., et.al., (2005). Monte Carlo calculation of radiation dose in CT examinations using phantom and patient tomographic models. *Radiation Protection Dosimetry*. 114(1-3):364-8.



# Trend Analizi Yöntemleri Kullanılarak Doğu Anadolu Bölgesi Aylık Yağış Miktarlarının Değerlendirilmesi

Serkan Şenocak<sup>1\*</sup>, Muhammed Fatih Emek<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4962-5349)

<sup>2</sup> Karayolları 12. Bölge Müdürlüğü, Erzurum, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7378-6460)

(İlk Geliş Tarihi 1 Kasım 2019 ve Kabul Tarihi 26 Kasım 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.646266)

**REFERENCE:** Şenocak, S. & Emek, M.F. (2019). Trend Analizi Yöntemleri Kullanılarak Doğu Anadolu Bölgesi Aylık Yağış Miktarlarının Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 807-822.

## Özet

Bu çalışmada, Doğu Anadolu Bölgesi'ne düşen aylık ve yıllık toplam yağışların trend analizinin araştırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün 46 adet yağış gözlem istasyonundan alınan, 1960 ile 2013 yılları arasında değişen, verilere Run testi ve Pettitt testi uygulanarak homojenlik analizi yapılmıştır. Homojen olduğu belirlenen istasyonlara Mann – Kendall testi ve Spearman'ın Rho testi uygulanarak trend analizi incelenmiş, Sen'in eğim metodu kullanılarak trendlerin eğimi belirlenmiştir.

Aylık toplam yağışların trend analizi değerlendirildiğinde yaz aylarında genellikle yağışların artan yönde eğilimde olduğu, kış aylarında ise azalan yönde eğilimde olduğu görülmüştür. Yazın Haziran ayında bölgede azalan yönde bir eğilim hâkimken, Temmuz ayında yerini artan yönde bir eğilime bırakmaktadır. Kasım ayı olduğunda ise bölgeye düşen aylık toplam yağışlarda tekrardan azalan yönde eğilim hakim olmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Doğu Anadolu Bölgesi, Trend Analizi, Mann–Kendall Testi, Spearman Rho Testi, Sen Eğim Metodu.

## Evaluation of Monthly Precipitation Amount in Eastern Anatolia Region by Using Trend Analysis Methods

### Abstract

In this study, the research of trend analysis of total monthly and annual rainfalls fall to East Anatolia Region have been targeted. For this purpose, with applying Run test and Pettitt test to data that is taken from General Directorate of Meteorology's 46 units rainfall observation station, changing from 1960 to 2013, homogeneity analysis was performed. With performing Mann-Kendall test and Spearman's Rho test to station determined as homogeneous trend analysis was examined, with using Sen's slope method trend's slope was determined.

As to assessed monthly total rainfalls trend analysis, it is observed that in the summer months generally rainfalls are increasing direction tendency, in the winter months it is decreasing direction tendency. In summer in June when a decreasing direction tendency is dominated at region, in July it gives place to increasing direction tendency. When it is November, again decreasing direction tendency at monthly total rainfalls to region is dominated.

**Keywords:** East Anatolia Region, Trend Analysis, Mann–Kendall Test, Spearman's Rho Test, Sen Trend Slope Method.

\* Sorumlu Yazar: Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye, ORCID: 0000-0002-4962-5349, [ssenocak@atauni.edu.tr](mailto:ssenocak@atauni.edu.tr)

## 1. Introduction

Precipitation is the most important component of the complex hydrological cycle with its effect in our daily life. For this reason, precipitation is usually taken as a starting point for understanding the changes in the processes that direct climate. Precipitation data is mostly recorded on land surface and an important element for monitoring the hydrological cycle (Acar and Şenocak 2008).

Long term mean annual rainfall in 631 mm in Turkey while it was determined to reduce by 15% in 1999 and 7% in 2000. In addition to the decrease in the mean annual rainfall, the deviation in the precipitation regime is also a consideration to be emphasized.

In addition, this decrease in rainfall and the deviation in precipitation regime adversely affect agricultural production. If these conditions continue to cause droughts in the coming years, water – related larger problems may occur in the future (Türkeş 1999, Öztürk 2002). However, the sudden decrease in subtropical zone rainfall started to be effective in the eastern Mediterranean Basin and Turkey from 1970s. Significant decreasing trends in rainfall and droughts have emerged as more pronounced in winter. In addition, the Aegean, Mediterranean, Marmara and Southeastern Anatolia regions were the most affected by the arid conditions in the 20-25 years between the early 1970s and the mid-1990s (Türkeş 1998).

There are several studies conducted on the trend analysis of precipitation, flow and temperature data. Demirci et al. (2009) used Thiessen and Mann-Kendall method for the trend of annual, seasonal and monthly mean, maximum and minimum temperatures over the 32-year period between 1975 and 2006 in Istanbul; The tendency of average, maximum and minimum temperatures was determined.

Demirci et al. (2009) used Thiessen and Mann-Kendall method for the annual, seasonal and monthly data obtained over a 32-year period between 1975 and 2006 in Istanbul. The tendency of average, maximum and minimum temperatures was determined. As a result of this study, in the 32-year period for the province of Istanbul, it was observed that the temperatures increased by 0.83°C in annual average temperatures.

Gümüş and Yenigün (2006) investigated the presence and starting point of the trend over the data of 4 current observation stations in the Lower Euphrates Basin using the Mann Kendall method.

Acar and Şenocak (2008) analysed short-term rainfall trends in Turkey's southern province of Adana, which is an important settlement, in time intervals ranging between 5 to 60 minutes. As a result of the study, a significant trend was determined in 5, 10, 15 and 30 minute time scales.

Acar and Senocak (2012) estimated trend analysis with the 1, 6, 12, 24-hour time scale in western Turkey using the 50- year annual data from 7 rainfall stations. After the homogeneity analysis of the data obtained from the rainfall stations during the study, trend analysis was performed with Mann – Kendall test and the slope of the trend was determined by Sen's slope method. As a result of this trend analysis study, a significant trend increase was observed in all time scales for İzmir province, whereas for Antakya and Bursa provinces, a significant trend increase was observed in the 12 - hour time scale. At the same time, breaking year was expressed as 1973 and 1974 for rainfall in the west of Turkey.

Çiflik (2012) investigated the trend of the annual rainfall from 49 DSİ (state water affairs) stations located in the Aegean Region during the 44 - year period between 1962-2005. In this trend study, non-parametric Mann, Kendall, Mann Kendall Mertebe Correlation, Sen-T test and Spearman's rho test were used. According to Mann Kendall, Spearman's rho and T test results, decreasing trend was found in 9 stations.

In the study conducted by Şen (2013), the rainfall and temperature data obtained from the 5 stations in Isparta province were evaluated by using nonparametric Men – Kendall and Spearman's rho test methods. Trend baseline years were evaluated using Mann–Kendall Mertebe Correlation test and trends tendency was determined using Sen's trend tendency method and Linear regression method.

In the study conducted by Uçgun (2010), the trend analysis of rainfall, temperature, evaporation and flow data were performed with the data collected from the observation stations in Kızılırmak Basin. In the analysis of the flow data, decreasing trend was observed in 4 stations.

In the study of Büyükyıldız (2004), the trend analysis of the rainfall falling on the Sakarya Basin was examined and at the same time stochastic modeling was performed. In this trend study, Sen's T test, Spearman's rho test, Mann - Kendall test and seasonal Mann Kendall test were used under two headings, monthly average annual bases and monthly change of rainfall of each station.

Partal and Kahya (2006) determined the significance of monthly and annual precipitation data in Turkey using trend analysis. This study adopted non-parametric methods using the Mann - Kendall test and Sen's T-test. A 64 – year data set between 1929 and 1993 was used over 96 stations.

Güvëntürk (2013) aimed to determine the rainfall trends in the Euphrates, Tigris, Aras and Çoruh basins located in eastern Turkey. In these four basins, the trend analysis was conducted from 15 stations and evaluated for a 40-year period between 1970 and 2010. As a result of the trend of rainfall, a significant increase was observed in November, December, January and February. In March, April, May and June, there was a slight decrease in large river flows. Seven among 15 selected stations tended to decrease in the number of wet days.

Norrrant and Douguédroit (2006) performed trend analysis on monthly, seasonal and yearly time scales of the Mediterranean geography between the years of 1950 and 2000. Mann - Kendall test method was used over the data obtained from 63 stations in the study.

Mondal et al. (2012) conducted the trend analysis of rainfall in the Orissa River Basin in India. Mann Kendall test and Sen's T Test method were used among nonparametric methods. As a result of the study conducted a 40-year period in the Orissa Basin between 1971 and 2010, it was stated that these trends are not significant despite the determination of both trend slope with increasing and decreasing direction with Mann - Kendall test.

Liu et al. (2012) collected the data from 186 rainfall measurement stations covering the years 1956 to 2000 in the city of Guangdong in southern China and evaluated them using Mann - Kendall test method on monthly, seasonal and annual bases.

Gautam and Acharya (2012) is different from other studies in that study samples in others are evaluated according to the amount of precipitation this study evaluates the trend analysis of flow quantities.

Serrano et al. (1999), conducted trend analysis of the total monthly and annual rainfall in the Iber Peninsula.

In the study conducted by Siddik and Rahman (2014), the data obtained from 15 observation stations in Bangladesh between 1961-2008 were analyzed by using Mann Kendall test method for maximum, minimum and average temperatures. At the same time, Sen's slope method was used to determine the magnitude of the trend.

In the study conducted by Talaei (2014), Mann - Kendall and Spearman's rho test methods were used to analyse the trend of the data from 7 rainfall measurement stations in the west of Iran between 1969 and 2009.

Raziei et al. (2014) performed trend analysis over the data obtained from the Global Precipitation Climatology Center in Iran for a 50-year period between 1951 and 2009 considering monthly, seasonal and annual rainfall values.

Han et al. (2013) completed a trend analysis over river flows and precipitation trends in the Xiangxi River Basin on monthly, seasonal and annual bases using the Mann - Kendall test and Sen's slope method.

In some recent studies, it has been pointed out that the annual rainfall in the Mediterranean and Aegean Regions, the decrease in the total rainfall in the winter season is strong (Demir et al. 2007, Türkeş et al. 2007).

It may be helpful to know the change in the amount of water over time and use, store and plan more carefully water. For this reason, there is a significant need for statistical methods such as trend analysis (Gümüş and Yenigün 2006). The better the trend analysis of rainfall is, the better to know and determine the future of water. A study covering the Eastern Anatolia Region was conducted in order to determine the past and the future of the rainfall. With this study, it is aimed to determine the trends in the last 50 years on a monthly basis with the monthly rainfall data obtained from the stations within the borders of the Eastern Anatolia Region of the State Meteorological Directorate. In this study, in Eastern Anatolia covering 163,000 km<sup>2</sup>, 21% of Turkey, non-parametric methods of Mann-Kendall test and were used to determine rainfall trend and to Sen's slope test to determine the trend slope.

## **2. Materials and Methods**

### **2.1. Study area and Data**

East Anatolia Region is the east of Turkey and roughly of the triangular shape and the most elevated part of the country. The region is bordered by the south faces of the North Anatolian Mountains in the north and the north high skirts of the Taurus Mountains in the south. Regional boundary separating the region from the Interior Anatolia follows the rough water section of the line of the Kızılırmak and Euphrates rivers and with 163,000 square kilometers of surface area, the region constitutes 21% of the Turkey's surface area, which carries the region to the first place among seven geographic regions.

The main surface characteristics of the region are the folded mountain ranges and the plains and plateaus between them. The average elevation of the major part of the region does not fall below 1500 meters, and more than half of the region's surface area is located at an altitude of 2000-2500 m.

East Anatolia Region is deeply inserted into the continental - originated climatic regions of Asia and surrounded by high mountain ranges from north and south. For this reason, the region is closed to the favourable climatic effects of the Mediterranean and Black Sea. Although it differs within the region, the semi-arid, arid continental climatic characteristics with long, severe and hard winters are dominant in the region. Depending on the altitude, the average annual temperature is between 3 and 13°C. The most severe winter conditions are experienced especially in the northeastern part of the region. Due to lower humidity content in the region where terrestrial dominance is observed, daily temperature differences are high and evaporation rate is also high in the southern parts. The region is rich in water resources.





*Figure 2.1. Map including provinces in East Anatolia*

### **2.1.1. Data**

Monthly rainfall data to be used in the study were collected from 46 meteorological rainfall measurement stations of the General Directorate of State Meteorological Affairs (Table 2.1).

Table 2.1. Rainfall measurement stations considered in the study

Station	Longitude ( <sup>0</sup> E)	Latitude ( <sup>0</sup> N)	Elevation (m)	Record Duration
Ağrı	43.05	39.72	1646	1960-2013 (54)
Doğubeyazıt	44.08	39.55	1725	1963-2009 (47)
Ardahan	42.70	41.10	1827	1961-2013 (53)
Erzincan	39.48	39.75	1216	1960-2013 (54)
Tercan	40.39	39.77	1429	1964-2013 (50)
Erzurum	41.18	39.95	1758	1960-2008 (49)
Hınıs	41.69	39.36	1715	1964-2001 (48)
Horasan	42.17	40.03	1540	1969-2013 (45)
İspir	40.99	40.48	1223	1965-2011 (47)
Oltu	41.99	40.54	1312	1966-2013 (48)
Tortum	41.54	40.30	1576	1963-2013 (51)
Iğdır	44.05	39.92	856	1960-2013 (54)
Kars	43.10	40.60	1777	1960-2013 (54)
Arpaçay	43.32	40.84	1688	1970-2013 (44)
Sarıkamış	42.59	43.32	2092	1963-2013 (51)
Bingöl	40.50	38.88	1177	1963-2013 (51)
Genç	40.55	38.73	1250	1980-2013 (34)
Solhan	41.05	38.95	1366	1965-2013 (49)
Elazığ	39.25	38.64	989	1960-2013 (54)
Ağın	38.71	38.94	900	1979-2013 (35)
Baskil	38.83	38.57	1300	1979-2013 (35)
Karakoçan	40.04	38.94	1090	1980-2013 (34)
Keban	38.74	38.79	808	1963-2013 (51)
Maden	39.40	38.23	1100	1980-2010 (31)
Palu	39.92	38.69	869	1966-2013 (48)
Sivrice	39.31	38.45	1240	1979-2013 (35)
Malatya	38.21	38.33	950	1960-2013 (54)
Arapgir	38.48	39.04	1211	1964-2010 (47)
Doğanşehir	37.88	38.09	1223	1965-2013 (49)
Tunceli	39.54	39.10	981	1964-2013 (50)
Çemişgezek	38.90	39.05	953	1969-2013 (45)
Mazgirt	39.60	39.01	1400	1982-2013 (32)
Bitlis	42.16	38.47	1785	1965-2010 (46)
Ahlat	42.47	38.74	1730	1968-2013 (46)
Tatvan	42.28	38.50	1687	1965-2013 (49)
Hakkari	43.73	37.57	1727	1963-2013 (51)
Yüksekova	44.28	37.57	1877	1969-2011 (43)
Muş	41.50	38.75	1322	1964-2013 (50)
Malazgirt	42.53	39.13	1540	1963-2013 (51)
Varto	41.44	39.17	1510	1977-2010 (34)
Van	43.34	38.46	1675	1960-2013 (54)
Başkale	44.01	38.04	2286	1964-2013 (50)
Erciş	43.33	39.01	1678	1965-2013 (49)
Gevaş	43.11	38.29	1694	1982-2013 (32)
Özalp	43.97	38.65	2000	1969-2013 (45)
Muradiye	43.76	38.98	1706	1964-2013 (50)

Since the data were not homogeneous at a total of 8 rainfall measurement stations of Ahlat, Ardahan, Arpaçay, Hakkari, Kars, Özalp, Malatya and Yüksekova among 46 ones, these were excluded from the study.

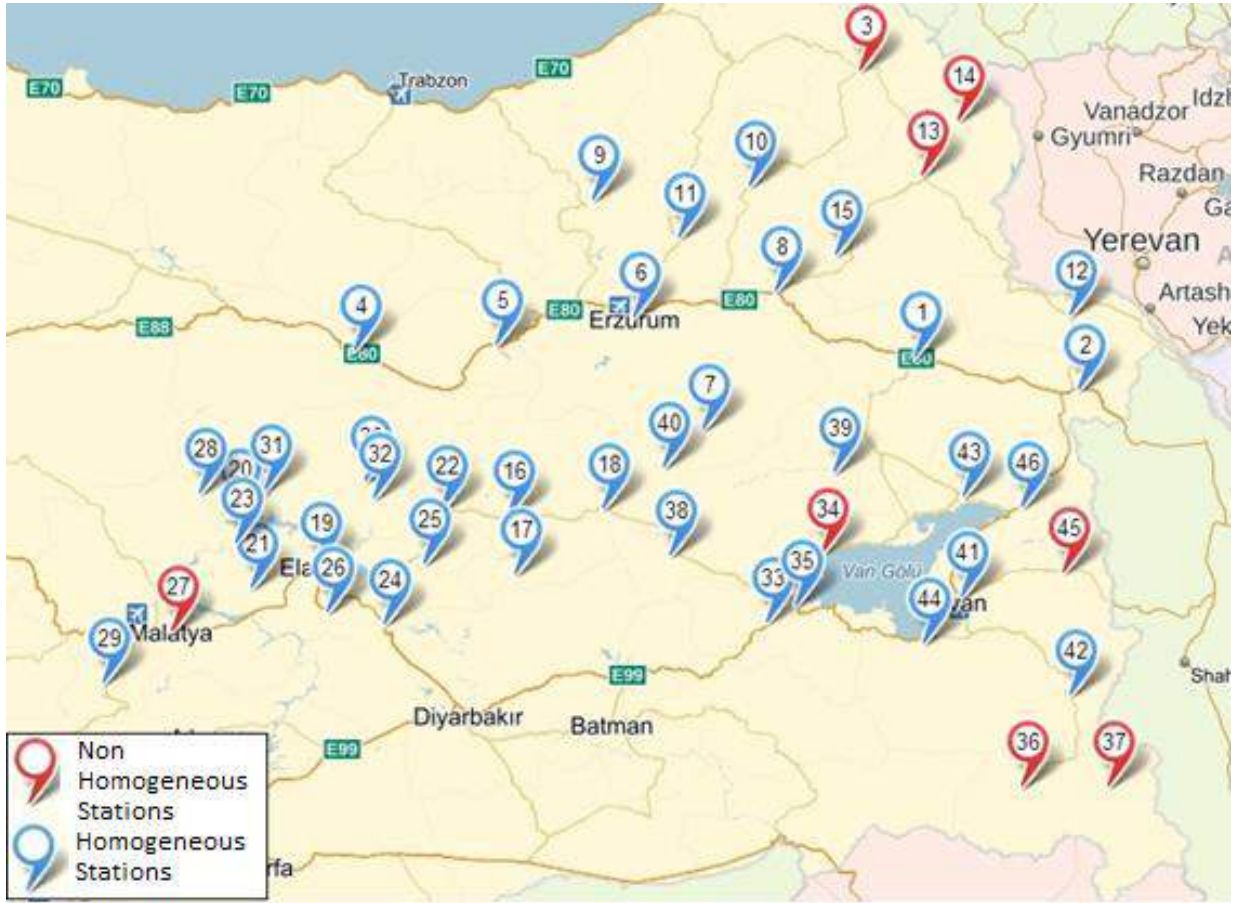


Figure 2.1. Locations of totally 46 rainfall measurement stations.

## 2.2. Homogeneity

The methods used to determine the trend of a series are collected under two headings; parametric and non-parametric methods, depending on whether the series is tied to a distribution or not (Hirsch 1992).

In parametrical methods, the real value of the data in the series is important and this value is used in the calculations. It is known that non-parametric methods give effective results compared to parametrical methods without the necessity of complying with normal distribution (Hirsch 1992). The Run (Swed Sw Eisenhart) and Pettitt test methods were preferred to determine the homogeneity of the series.

### 2.2.1. Swed- Eisenhart run test

The Swed and Eisenhart (Swed and Eisenhart 1943) run test is a non-parametric procedure used in determining the homogeneity of a time series. In general, it can adequately detect non-homogeneities as well as other problems such as a change of instrument, relocation of stations, etc. However, after detection of the non-homogeneity, further detailed physical and/or meteorological studies are needed in order to identify its major cause.

The test procedure depends on the truncation of the analyzed time series at the median level, giving rise to data values greater or smaller than the median. Any uninterrupted sequence of greater (or smaller) values preceded and succeeded by at least one smaller (or greater) value is referred to as a run. A succession of greater (or smaller) values constitutes a positive (or negative) run. In general, the number of positive runs is equal to negative runs plus or minus 1. For the analyzed time series to be homogeneous, the number of positive (or negative) runs should be confined within the upper and lower confidence limits at a given significance level (usually 5 or 10 percent). The calculation of confidence limits is based on the assumption of a normal distribution. According to this test, if the number of runs falls between confidence limits than the data set considered is homogeneous (Thorn 1966).

### 2.2.2. Pettitt test

The Pettitt Test is a nonparametric test that does not require any assumptions about the distribution of data. This nonparametric method developed by Pettitt (1979) to determine the point of change in a time series can find the point of change on a monthly or annual scales. While the null hypothesis indicates an independent and random distribution of the series, the alternative hypothesis indicates a sudden change. The test statistic is associated with the Mann - Whitney statistic. The critical values of this test are given below.

$Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n$  values are sequenced as  $r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$

$$X_k = 2 \sum_{i=1}^k r_1 - k(n + 1) \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (2.1)$$

$X_k$  values are drawn as graphics. The absolute maximum value of  $X_k$  determines the point of change.

$$X_E = \max_{1 \leq k \leq n} |X_k| \quad (2.2)$$

### 2.3. Trend

The trend that can be defined as long-term movement is the development or tendency of a time series in a long-term and a certain direction. Since trend analysis is a long-term analysis, the fact that the data is given monthly or seasonal does not affect the result of the analysis. The trend of a series can be linear or curvilinear. However, an important feature of the trend is stable in both cases (Köksal 1998).

#### 2.3.1. Mann–Kendall test

Mann-Kendall test is a statistical testing method that is commonly used in defining the trend in time series in hydrology and climatology fields and that is also suggested by World Meteorological Organization (WMO). Mann-Kendall test pulled its rank in trend analysis in several studies. Non-parametric tests are usually more robust compared with parametric ones, among which the Mann–Kendall test is the most used in hydrology and climatology. Therefore, to detect any monotonic trends in the precipitation time series at all considered grid points, the Mann–Kendall test was used. This test consists of comparing each value of the time series with the remaining in a sequential order. The Mann-Kendall statistic  $S$  is given as:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (2.3)$$

The application of trend test is done to a time series  $x_i$  that is ranked from  $i=1, \dots, n-1$  and  $x_j$ , which is ranked from  $j=i+1, \dots, n$ . Each of the data point  $x_i$  is taken as a reference point which is compared with the rest of the data points  $x_j$  so that,

$$\text{sgn}(x_i - x_j) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_i - x_j) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_i - x_j) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_i - x_j) < 0 \end{cases} \quad (2.4)$$

It has been documented that when  $n \geq 8$ , the statistic  $S$  is approximately normally distributed with the mean.  $E(S) = 0$

The variance statistic is given as:

$$\text{Var}(S) = \frac{n \cdot (n - 1) \cdot (2n + 5)}{18} \quad (2.5)$$

The test statistics  $Z$  is computed as:

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & S < 0 \end{cases} \quad (2.6)$$

$Z$  here follows a standard normal distribution. A positive (negative) value of  $Z$  signifies an upward (downward) trend. A significance level  $\alpha$  is also utilized for testing either an upward or downward monotone trend (a two-tailed test). If  $Z$  appears greater than  $Z(\alpha/2)$  where  $\alpha$  depicts the significance level, then the trend is considered as significant.

#### 2.3.2. Spearman's Rho test

A quick and simple test to determine whether correlation exists between two classifications of the same series of observations is the Spearman's rank correlations test. In this test, there is a significant trend only if the correlation between time steps and rainfall observations are found to be significant. Account of the test statistic  $Z$  based on  $r_s$  was not presented here, since it can easily be found in statistical books. The test statistics  $r_s$  is computed as:

$$r_s = 1 - 6 \left[ \sum_{i=1}^n (R(x_i) - i)^2 \right] / (n^3 - n) \quad (2.7)$$

For  $n > 30$ , the distribution of  $r_s$  will be normal, so that the normal distribution tables can be used. In this case, the test statistic  $r_s$  is computed by

$$Z = r_s \sqrt{n - 1} \quad (2.8)$$

If  $|Z| > Z\alpha$  at a significance level of  $\alpha$ ; then the null hypothesis of no trend (on the other word, values of observations are identically distributed) is rejected.

### 2.3.3. Sen's estimator of slope

If a linear trend is present, the true slope (change per unit time) can be estimated by using a simple non-parametric procedure developed. In computational procedures, the slope estimates of N pairs of data are first computed by

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \tag{2.9}$$

for  $i=1, \dots, N$ ; where  $x_j$  and  $x_k$  are data values at times  $j$  and  $k$  ( $j > k$ ); respectively. The median of these N values of  $Q_i$  is Sen's estimator of slope. If there is only one datum in each time period, then

$$N = n(n - 1) / 2 \tag{2.10}$$

where  $n$  is the number of time periods. If  $N$  is odd, then Sen's estimator is computed by

$$Q_{median} = Q_{(N+1)/2} \tag{2.11}$$

and if is even, then Sen's estimator is computed by

$$Q_{median} = \left[ Q_{N/2} + Q_{(N+2)/2} \right] / 2 \tag{2.12}$$

The detected value of  $Q_{median}$  is tested by a two-sided test at the  $100(1-\alpha)\%$  confidence interval and true slope may be obtained by the non-parametric test.

## 3. Results

Missing monthly rainfall data obtained from the General Directorate of Meteorology were estimated and homogeneity of all data together with missing ones were analysed for their homogeneity.

The trend analyses and slopes of the data were determined being obtained from the stations determined to be homogeneous. In the evaluations, monthly rainfall data in Eastern Anatolia Region were taken into consideration using non-parametric methods, Mann-Kendall test and Spearman's rho test individually and together. Trend slopes of the stations were determined through Sen's slope method.

The findings obtained were explained on monthly and station bases.

### 3.1. Homogeneity analysis

As the result of the homogeneity analysis performed by both methods, totally 8 rainfall measurement stations were excluded from the study; one (Hakkari Rainfall Measurement Station) through the Run (Swed - Eisenhart) Test and seven through the Pettitt Test namely the Rainfall Measurement Stations of Ahlat, Ardahan, Arpaçay, Kars, Malatya, Özalp and Yüksekova since the data from these stations were not homogenous. Thus, data from 38 rainfall observation stations were evaluated in the trend study.

### 3.2. Monthly Trend Analysis

While performing monthly trend analysis, the monthly total rainfall data collected from the stations is analyzed in a way that will be evaluated within the month. Monthly precipitation data corresponds to the same number of data used in the trend analysis of the annual total precipitation data. Monthly rainfall data corresponds to the same number of data used in the trend analysis of the annual total precipitation data. It starts and ends in the same year. In the monthly trend analysis, Mann - Kendall test and Spearman's rho test were used with 90% and 95% confidence interval.

#### 3.2.1. Trend analysis of monthly rainfall with Mann-Kendall test

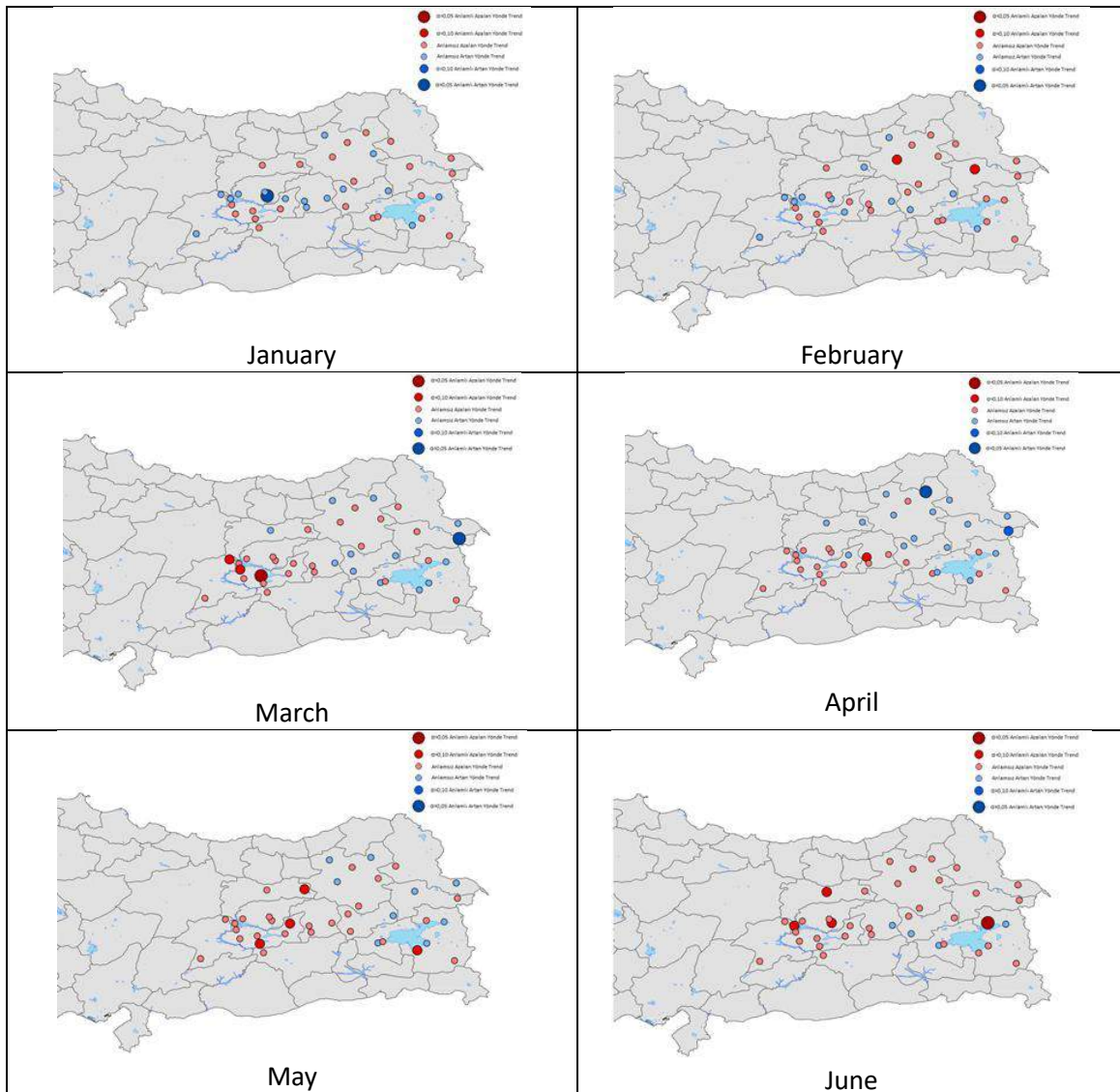
The results of the analysis conducted through Mann-Kendall test over monthly rainfall at 95% and 90% confidence intervals are given in Table 3.1. The results are also shown in Figure 3.1.



Table 3.1. Mann-Kendall test results for 10% and 5% level of significance

Month	Increasing trend	Decreasing Trend
January	Mazgirt*	-
February	-	Ağrı, Erzurum
March	Doğubeyazıt*	Arapgir, Elazığ*, Keban
April	Doğubeyazıt, Oltu*	Bingöl
May	-	Gevaş, Karakoçan, Sivrice, Tercan <sup>+</sup>
June	-	Ağın, Erciş*, Erzincan, Mazgirt <sup>+</sup>
July	Başkale*, Elazığ, Erciş, İspir*, Oltu	-
August	Hınıs, Muş	-
September	Ağın*, Çemişgezek*, Tunceli, Van, Varto*	-
October	-	Erciş, Gevaş
November	-	Ağın, Genç*, Tunceli*, Solhan <sup>+</sup>
December	-	İspir, Palu*, Solhan*

\* Significant at both 5 and 10 per cent levels , + Significant at only 5 per cent levels



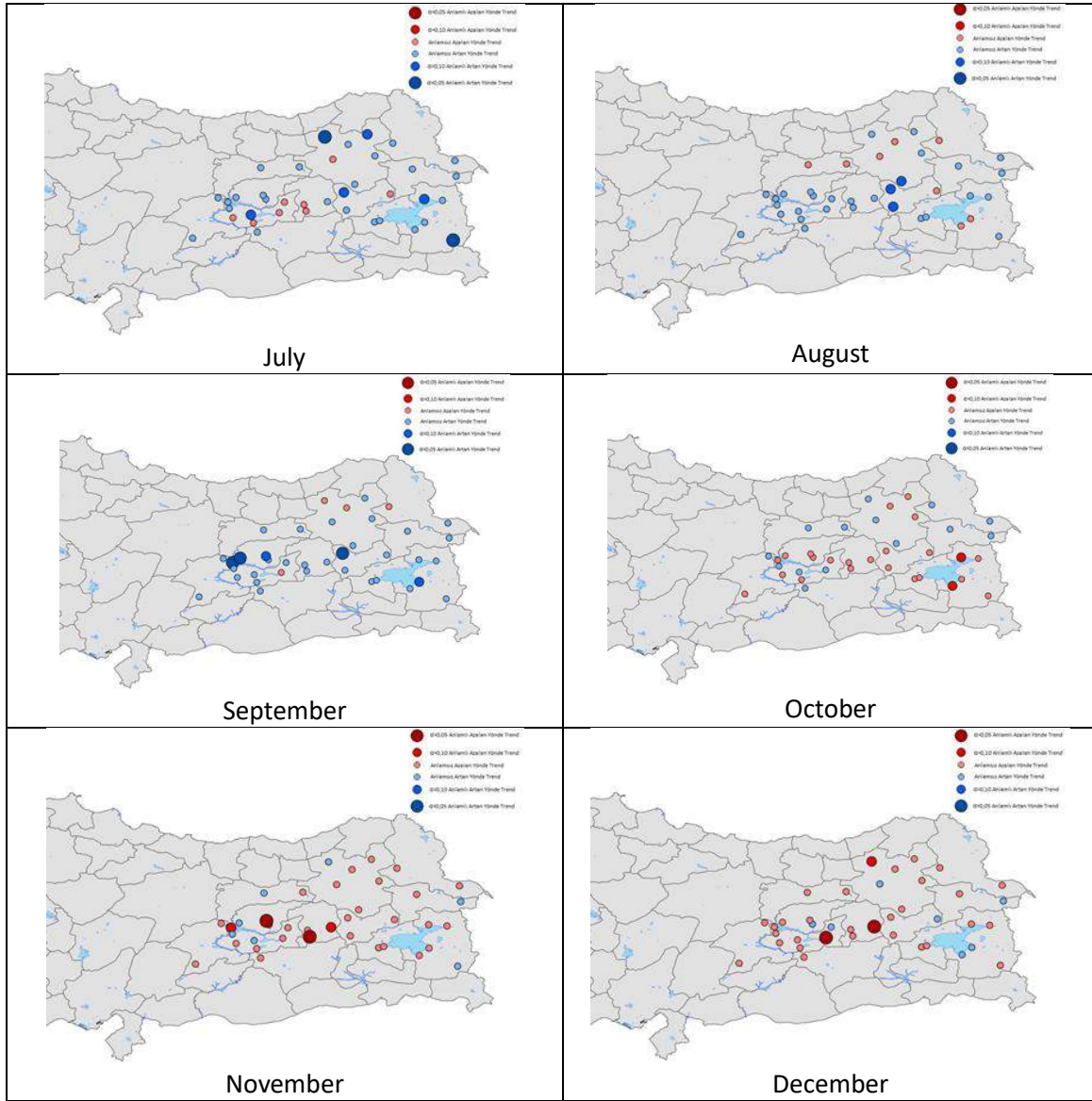


Figure 3.1. Mann-Kendall test results for 10% and 5% level of significance

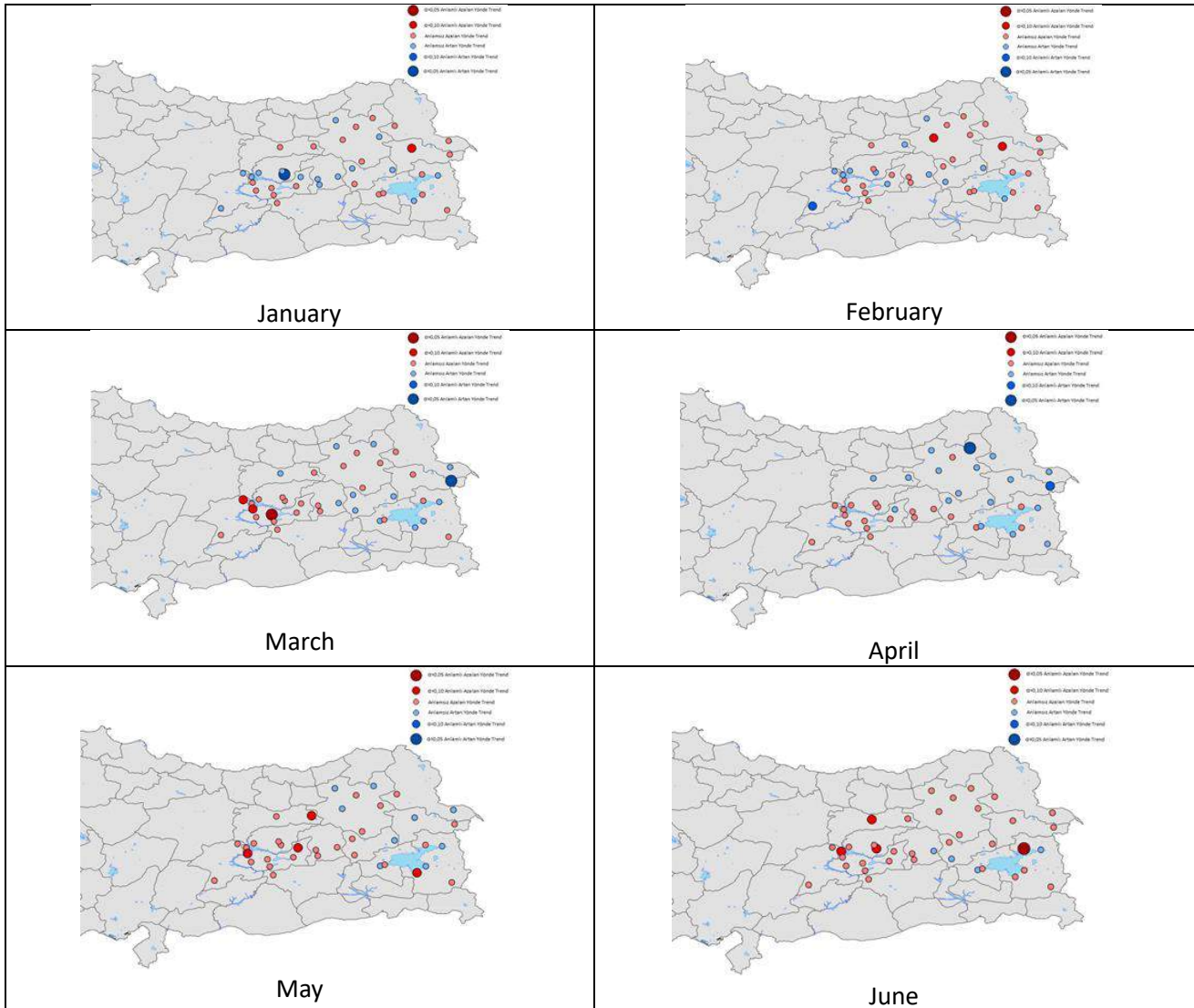
**3.2.2. Trend analysis of monthly rainfall with Spearman's rho test**

Spearman's rho test method was used to perform trend analysis of monthly rainfall at 95% and 90% confidence intervals are given in Table 3.2. The results are also shown in Figure 3.2.

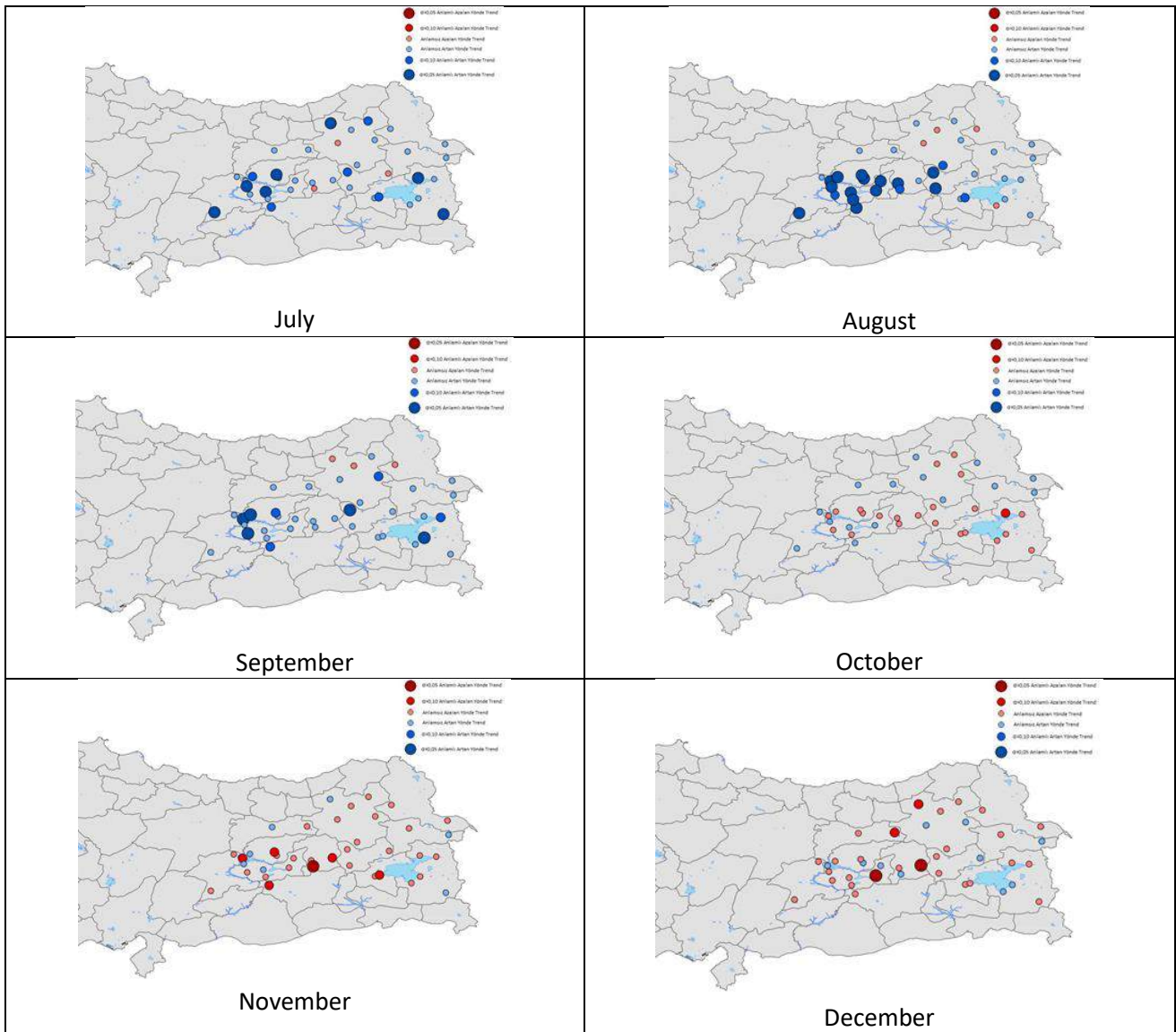
Table 3.2. Spearman's rho test results for 10% and 5% level of significance

Month	Increasing trend	Decreasing Trend
January	Mazgirt*	Ağrı
February	Doğanşehir	Ağrı, Erzurum
March	Doğubeyazıt*	Arapgir, Elazığ*, Keban
April	Doğubeyazıt, Oltu*	-
May	-	Gevaş, Karakoçan, Keban
June	-	Ağın, Erciş*, Erzincan, Mazgirt
July	Başkale*, Çemişgezek, Doğanşehir* Elazığ*, Erciş*, İspir*, Keban*, Maden, Oltu, Tatvan, Tunceli*, Varto	-
August	Ağın*, Baskil, Bingöl*, Çemişgezek*, Doğanşehir*, Elazığ*, Genç, Hınıs, Karakoçan*, Keban*, Maden*, Mazgirt*, Muş*, Palu*, Sivrice*, Tatvan, Tunceli*, Varto*	-
September	Ağın*, Baskil*, Çemişgezek*, Horasan, Maden, Muradiye, Tunceli, Van*, Varto*	-
October	-	Erciş
November	-	Ağın, Genç*, Maden, Solhan, Tatvan, Tunceli
December	-	İspir, Palu*, Solhan*, Tercan

\* Significant at both 5 and 10 per cent levels , + Significant at only 5 per cent levels







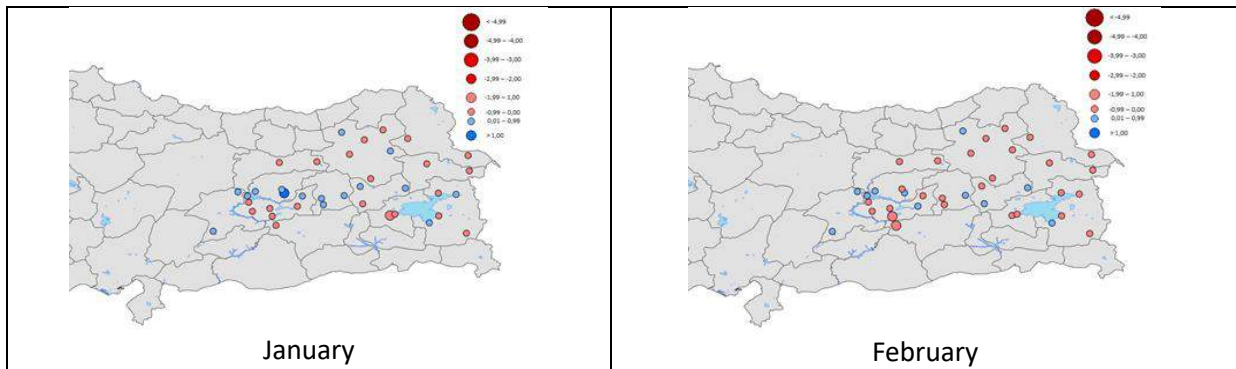
*Figure 3.2. Spearman's rho test results for 10% and 5% level of significance*

**3.2.3. The slope of monthly total precipitation with Sen's slope method**

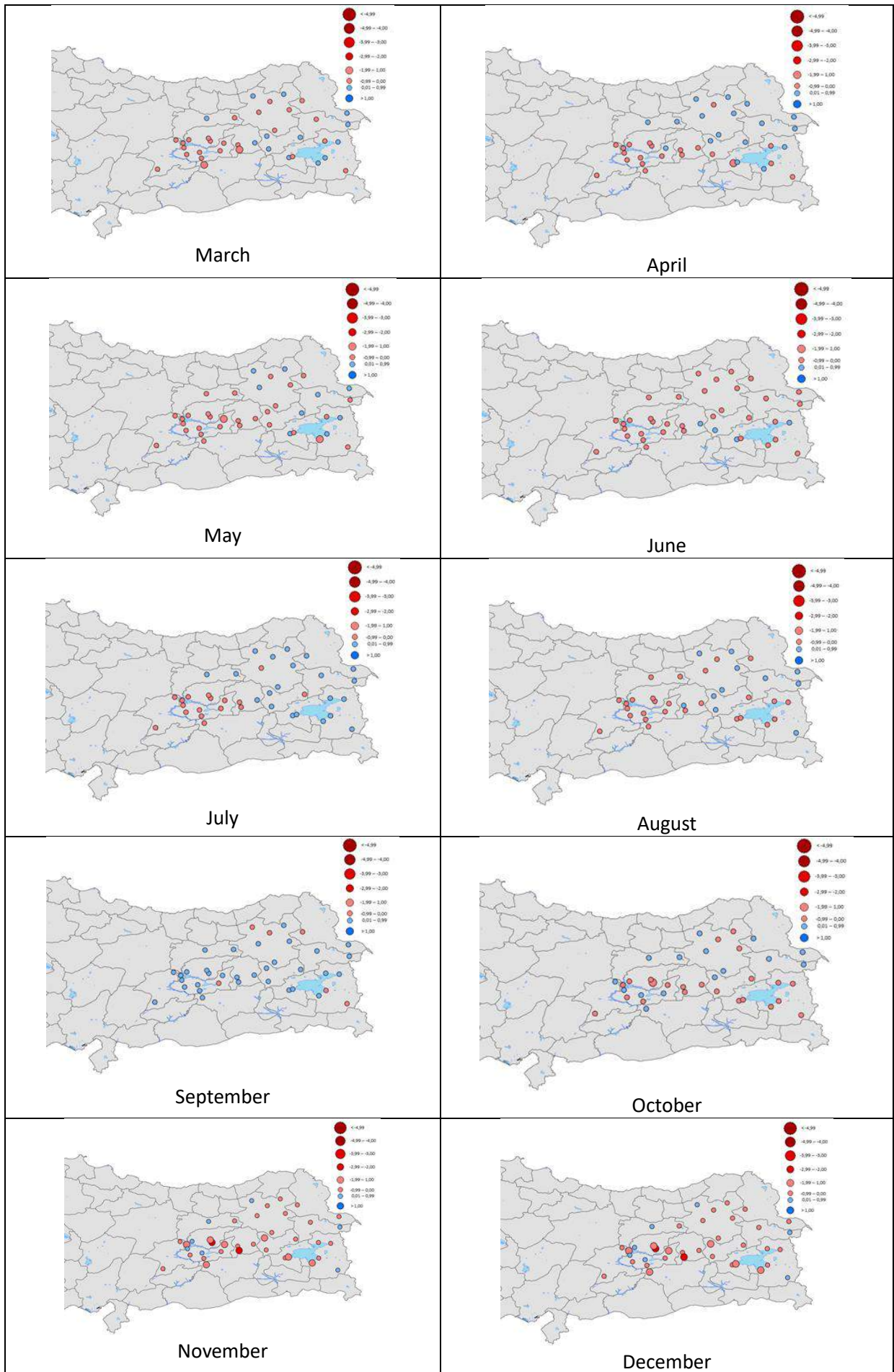
The slopes of the monthly rainfall data at 38 rainfall measurement stations were estimated using Sen's slope method and the results are given in Table 3.3. The results are also shown in Figure 3.3.

Table 3.3. Sen's slope results

Station	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
Ağrı	-0,34	-0,37	-0,27	0,32	0,30	-0,04	0,05	0,03	0,11	0,09	-0,17	-0,22
Doğubeyazıt	-0,02	-0,02	0,29	0,51	-0,13	-0,27	0,24	0,05	0,05	0,07	0,19	0,10
Erzincan	-0,06	-0,08	0,11	0,16	-0,28	-0,22	0,03	0,00	0,12	0,05	0,09	-0,21
Tercan	-0,16	0,00	-0,23	0,18	-0,53	-0,12	0,13	0,00	0,07	0,28	-0,25	-0,33
Erzurum	-0,12	-0,21	-0,06	0,32	0,12	-0,35	-0,10	-0,04	0,07	0,38	-0,14	0,03
Hınıs	-0,06	-0,07	-0,20	0,31	-0,19	-0,14	0,10	0,10	0,09	0,12	-0,29	-0,08
Horasan	0,07	-0,19	-0,02	0,42	-0,29	-0,15	0,33	0,17	0,22	-0,07	-0,23	-0,01
İspir	0,06	0,08	0,24	0,26	0,07	-0,11	0,43	0,03	-0,08	0,46	0,15	-0,42
Oltu	-0,14	-0,05	0,23	0,46	0,09	-0,18	0,40	0,05	0,12	-0,04	-0,20	-0,17
Tortum	-0,12	-0,16	-0,15	-0,05	-0,17	-0,38	0,30	-0,07	-0,07	-0,07	-0,26	-0,23
İğdır	-0,01	-0,08	0,06	0,28	0,24	-0,02	0,07	0,03	0,02	0,02	-0,04	-0,06
Sarıkamış	-0,07	-0,31	-0,17	0,21	-0,36	-0,53	0,16	-0,11	-0,07	0,14	-0,31	-0,32
Bingöl	0,00	-0,16	-0,32	-0,96	-0,17	-0,04	0,00	0,00	0,02	-0,15	-0,47	-0,34
Genç	0,81	-0,72	-1,28	-0,64	-0,95	-0,30	-0,03	0,00	0,08	-0,80	-2,16	-0,07
Solhan	0,25	0,42	0,35	-0,55	-0,09	0,11	0,01	0,00	0,08	-0,31	-0,87	-1,06
Elazığ	-0,23	-0,19	-0,64	-0,31	-0,22	-0,04	0,00	0,00	0,04	0,14	0,04	-0,33
Ağın	0,12	0,07	-0,07	-0,35	-0,49	-0,45	0,00	0,00	0,14	-0,43	-1,34	-0,01
Baskil	-0,29	-0,15	-0,54	-0,21	-0,62	-0,16	0,00	0,00	0,10	-0,22	-0,67	-0,15
Karakoçan	0,38	-0,46	-0,13	0,74	-1,56	-0,11	0,00	0,00	0,20	-0,19	-1,00	0,15
Keban	-0,20	-0,21	-0,46	-0,40	-0,49	-0,16	0,00	0,00	0,01	0,10	0,10	-0,15
Maden	-0,32	-1,80	-1,20	-0,87	-0,77	-0,16	0,00	0,00	0,06	0,72	-1,59	-1,31
Palu	-0,37	0,15	-0,22	-0,10	-0,46	-0,05	0,00	0,00	0,00	0,17	-0,63	-0,71
Sivrice	-0,26	-1,01	-0,63	-0,75	-0,90	-0,27	0,00	0,00	0,10	-0,24	-0,56	-1,24
Arapgir	0,11	0,05	-0,93	-0,67	-0,05	-0,10	0,00	0,00	0,07	0,32	-0,35	-0,69
Doğanşehir	0,14	0,48	-0,58	-0,64	-0,50	-0,07	0,00	0,00	0,04	-0,26	-0,36	-0,48
Tunceli	0,60	-0,11	-0,99	-0,59	-0,49	-0,10	0,00	0,00	0,13	-0,06	-1,19	-1,35
Çemişgezek	0,12	0,10	-0,78	-0,65	-0,06	-0,16	0,00	0,00	0,08	-0,18	0,24	-0,32
Mazgirt	1,68	0,53	-0,16	-0,32	-0,84	-0,41	0,00	0,00	0,13	-1,01	-2,00	0,46
Bitlis	-1,15	-0,66	0,27	-1,08	0,02	0,14	0,02	0,00	0,08	-0,83	-0,12	-0,94
Tatvan	-0,56	-0,48	-0,08	0,46	-0,07	-0,09	0,07	0,00	0,03	-0,63	-1,04	-0,64
Muş	-0,19	0,11	0,15	-0,30	-0,08	0,02	0,01	0,01	0,00	-0,36	-0,74	-0,54
Malazgirt	0,09	0,05	0,19	0,52	0,03	-0,17	-0,02	0,00	0,05	-0,32	-0,08	0,07
Varto	0,01	-0,36	0,48	0,09	-0,32	-0,25	0,28	0,20	0,33	0,01	-1,11	-0,15
Van	-0,01	-0,08	0,13	-0,27	0,09	-0,04	0,01	0,00	0,00	-0,10	-0,16	0,18
Başkale	-0,05	-0,07	-0,25	0,00	-0,23	-0,12	0,25	0,01	0,00	-0,47	0,12	-0,21
Erciş	-0,02	-0,15	-0,05	-0,17	-0,37	-0,46	0,12	0,00	0,02	-0,62	-0,57	-0,36
Gevaş	0,61	0,03	0,11	0,16	-1,19	-0,18	0,14	0,00	0,14	-0,96	-1,05	0,08
Muradiye	0,21	-0,02	0,42	0,23	0,07	0,11	0,19	0,00	0,12	-0,18	-0,03	-0,07







*Figure 3.3. Monthly Sen's slope results*

## 4. Conclusion

Rainfall is the most important environmental factor that determines the structural characteristics, species diversity and vital rhythm of the animal and plant communities on earth as it is the source of the water required for their living. Monitoring the expected or observed changes in precipitation regime and rainfall is especially important for the regions where the drought constitutes a threat.

In Eastern Anatolia, the largest geographical region of Turkey in surface area, precipitations are generally in the form of snow and uneven; therefore, the flow regime is also irregular. Since the precipitations are usually in snow form, in especially spring months, stream flows are rapid and strong. In addition, high elevations and slopes in the region also increase the hydroelectric potential.

In this study, the data obtained from the General Directorate of Meteorology were evaluated on monthly basis. As the result of the evaluation, it was observed that the largest rainfall was measured in April while the lowest was in August. The highest rainfall based on stations was observed in Bitlis station with 586.5 mm in February 1992 while the lowest (no rainfall) was measured in several stations in many months.

Two different methods were used to test the homogeneity of the data; Run test and Pettitt test. As a result of homogeneity analysis with Run test, it was determined that only Hakkari station was not homogeneous in 95% confidence interval. When the homogeneity analysis was performed by Pettitt test, it was determined that 7 rainfall stations, Ahlat, Ardahan, Arpaçay, Kars, Malatya, Özalp and Yüksekova, were not homogeneous in the 95% confidence interval.

Thus, among a total of 46 rainfall measurement stations, eight with non-homogeneous rainfall data were excluded from the study and 38 rainfall measurement stations were analyzed for trend analysis.

Mann – Kendall and Spearman's rho tests and Sen's inclination method were used for trend analysis of monthly total precipitation.

According to the common results of both of the trend analyses (at 90% confidence interval) which were conducted using Mann - Kendall test and Spearman's rho test and evaluated in the 90% and 95% confidence intervals, a significant decrease was observed at the rainfall measurement stations of Ağın in June and November, Ağrı in February, Arapgir in March, Elazığ in March, Erciş in June and October, Erzincan in June, Erzurum in February, Genç in November, Gevaş in May, Karakoçan in May, Keban in March, Mazgirt in June, Solhan in November and December and Tercan in May, while a significant increase was found for the stations of Tunceli in September and November, Ağın in September, Başkale in September, Çemişgezek in September, Doğubeyazıt in March and April, Elazığ in July, Erciş in July, Hınıs in August, İspir in July, Mazgirt in January, Muş in August, Oltu in April and July, Van in September, Varto in July, August and September.

In the 95% confidence interval, a significant increase was seen for the Rainfall Measurement Stations of Ağın in September, Başkale in July, Çemişgezek in September, Doğubeyazıt in March, İspir in July, Mazgirt in January, Oltu in April, Varto in September while significant decrease was seen in Elazığ (March), Ercis (June), Genç, (November) and Solhan in December.

It may be stated when evaluated at 95% confidence interval according to Sen's slope method that the results generally show similarities between the trends found in both Mann - Kendall test and Spearman's rho test; however, in July and August, the results were found to be closer to those found in the Mann - Kendall test method.

When the trend analysis was conducted at 38 rainfall measurement stations using the Mann Kendall test and the Spearman's rho test, in both trend methods similar and differing results were obtained for monthly rainfalls. For some stations and months, there is a rising trend while a decreasing trend can be seen according to the other method. In a similar way, it is possible to see a trend in a decreasing direction at a station while it has an increasing characteristic in another method.

Analysing these differences seen in the trend analysis of the monthly rainfall using different trend methods in addition to the Mann - Kendall test and Spearman's rho test may give better results in terms of the accuracy of the results.

It is seen when the trend analysis of the monthly rainfall is evaluated that in summer months, rainfall is generally in an increasing trend while in winter its trend is in a decreasing direction. In June (summer), there is a declining trend in the region while in July the trend turns out to be an increasing way. In November, the trend is in decreasing direction again in the region.

In the present study, trend analysis was performed using only precipitation data. Conducting similar studies for other meteorological parameters may serve as a basis for both the reliability of the study and the studies on climate change. Likewise, evaluation of the present results considering different climate scenarios for the the region may also contribute to the determination of the water potential in the future in the region.

## References

- Acar, R. and S. Şenocak (2008). Detection of Statistically Significant Trends in The Short Duration Rainfalls (SDR) of Adana City, Turkey. *EGU General Assembly 2008: IS22-HS2.1 Session on "Climate, Water and Health"*, Vienna, Austria.
- Acar, R. and S. Şenocak (2012). Annual extreme precipitation trends for western Turkey in associated with North Atlantic Oscillation (NAO) index. *Energy Education Science and Technology Part a-Energy Science and Research*, 29(1), 475-486.
- Büyükyıldız, M. (2004). Sakarya Havzası Yağışlarının Trend Analizi ve Stokastik Modellemesi. *Fen Bil. Enst., İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi*.
- Çiflik, D. (2012). Ege bölgesi DSİ istasyonlarında ölçülen yıllık toplam yağışların trend analizi. *Fen Bil. Enst., İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Y.Lisans Tezi, Ege Üniversitesi*.

- Demir, İ., G. Kılıç and M. Coşkun (2007). Türkiye ve bölgesi için PRECIS bölgesel iklim modeli çalışmaları. *İklim Değişikliği ve Çevre*, 1(1), 11-17.
- Demirci, A., Karaburun A. and F. Kara (2009). Uzun Dönem Sıcaklık Verilerinde Thiessen ve Mann Kendall Metodları ile Trend Analizlerinin Yapılması: İstanbul Örneği. 3. *Ulusal DEÜ CBS Sempozyumu*, 10-11.
- Gautam, M. and K. Acharya (2012). Streamflow trends in Nepal. *Hydrological sciences journal*, 57(2), 344-357.
- Gümüş, V. and K. Yenigün (2006). Aşağı Fırat Havzası akımlarının trend analizi ile değerlendirilmesi. *Yedinci Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi*, 11-13.
- Güventürk, A. (2013). Impacts of climate change on water resources eastern mountainous region of Turkey Master of Science, Middle East Technical University.
- Han, J.-C., G.-H. Huang, H. Zhang, Z. Li and Y.-P. Li (2013). Heterogeneous precipitation and streamflow trends in the Xiangxi River watershed, 1961–2010. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(6), 1247-1258.
- Hirsch, R. (1992). Statistical Methods in Water Resources. Studies in Environmental Science, *Elsevier Science & Technology*.
- Liu, D., S. Guo, X. Chen and Q. Shao (2012). Analysis of trends of annual and seasonal precipitation from 1956 to 2000 in Guangdong Province, China. *Hydrological sciences journal*, 57(2), 358-369.
- Mondal, A., S. Kundu and A. Mukhopadhyay (2012). Rainfall trend analysis by Mann-Kendall test: A case study of north-eastern part of Cuttack district, Orissa. *International Journal of Geology, Earth Environmental Sciences*, 2(1), 70-78.
- Narrant, C. and A. Douguédroit (2006). Monthly and daily precipitation trends in the Mediterranean (1950–2000). *Theoretical Applied Climatology*, 83(1-4), 89-106.
- Öztürk, K. (2002). Küresel İklim Değişikliği ve Türkiye'ye Olası Etkileri. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22(1).
- Partal, T. and E. Kahya (2006). Trend analysis in Turkish precipitation data. *Hydrological Processes: An International Journal*, 20(9), 2011-2026.
- Pettit, A. (1979). Anon-parametric approach to the change-point detection. *Applied Stat.*, 28, 126-135.
- Raziei, T., J. Daryabari, I. Bordi and L. S. Pereira (2014). Spatial patterns and temporal trends of precipitation in Iran. *Theoretical applied climatology*, 115(3-4), 531-540.
- Serrano, A., V. Mateos and J. Garcia (1999). Trend analysis of monthly precipitation over the Iberian Peninsula for the period 1921–1995. *Physics Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans Atmosphere*, 24(1-2), 85-90.
- Siddik, M. A. Z. and M. Rahman (2014). Trend analysis of maximum, minimum, and average temperatures in Bangladesh: 1961–2008. *Theoretical applied climatology*, 116(3-4), 721-730.
- Swed, F. S. and C. Eisenhart (1943). Tables for testing randomness of grouping in a sequence of alternatives. *The Annals of Mathematical Statistics*, 14(1), 66-87.
- Şen, C. (2013). Isparta ilinde sıcaklık ve yağış verilerinin trend analizi, *SDÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, Isparta*.
- Talaei, P. H. (2014). Iranian rainfall series analysis by means of nonparametric tests. *Theoretical applied climatology*, 116(3-4), 597-607.
- Thorn, H. (1966). Some methods of climatological analysis. *WMO technics/note*, number(81), 16-22.
- Türkeş, M. (1998). Influence of geopotential heights, cyclone frequency and southern oscillation on rainfall variations in Turkey. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 18(6), 649-680.
- Türkeş, M. (1999). Vulnerability of Turkey to Desertification with Respect to Precipitation Aridity Condition, *Tr. J. of Engineering and Environmental Science*, 23, 363 – 380.
- Türkeş, M., K. Telat and F. Sarış (2007). Türkiye'nin Yağış Toplamı ve Yoğunluğu Dizilerindeki Değişikliklerin ve Eğilimlerin Zamansal ve Alansal Çözümlemesi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 5(1), 57-73.
- Uçgun, E. (2010). Kızılırmak havzası'ndaki hidrometeorolojik verilerin trend analizi. *Fen Bil. Enst., İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Kırıkkale Üniversitesi*.



# The Effect of LED Deployment on RSSI-based VLP Systems

Yasin Çelik<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Electrical-Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Aksaray University, Aksaray, Turkey (ORCID: 0000-0001-8972-9970)

(First received 3 October 2019 and in final form 1 December 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.628709)

**ATIF/REFERENCE:** Çelik, Y. (2019). The Effect of LED Deployment on RSSI-based VLP Systems. *European Journal of Science and Technology*, (17), 823-832.

## Abstract

In this paper, the effect of light emitting diode (LED) deployment is investigated based on the received signal strength indication (RSSI) technique for visible light positioning (VLP) systems. The optical code division multiple access (OCDMA) is used as a multiplexing technique to transmit the location and RSSI information of LEDs simultaneously. For different highly reflective indoor scenarios, LEDs are placed on the ceiling of a room considering homogeneous illumination. The illuminance of the room is provided particularly with 400 lux *minimally* at the desk height. In order to demonstrate the uniformity of lighting for different indoor scenarios, the uniformity illuminance ratio (UIR) values are also obtained in this study. In addition, electrical signal-to-noise ratio (SNR), an important parameter for reliable communication, is calculated at desk height for each scenario considered and an SNR level of 45 dB is obtained at a *minimum*. The simulation results demonstrate that the mean square error (MSE) of the estimated location is reduced with an increase in the number of visible access points (VAPs). The MSE of the distance for number of VAPs 12 and 16 are the best, however, the scenario with 16 VAPs is preferable with a better uniformity illuminance ratio (UIR) parameter. In terms of illuminance, all the cases have the average illuminance value more than 450 lux.

**Keywords:** Visible light positioning, RSSI, Trilateration, CDMA.

## LED Dağılımının RSSI Tabanlı Görünür Işık Konum Belirleme Sistemleri Üzerindeki Etkisi

### Öz

Bu çalışmada, ışık yayan diyot (LED) dağılımının alınan sinyal gücü göstergesi (ASGG) tabanlı görünür ışık konum belirleme sistemlerinin performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. LED'lerin konum ve ASGG bilgisini alıcı birime göndermek için optik kod bölme çoklu erişim tekniği çoğullama tekniği olarak kullanılmıştır. Bina içi yansımının kuvvetli olduğu senaryolar için LED'ler tavana homojen bir aydınlatma sağlayacak şekilde yerleştirilmiştir. Oda içindeki aydınlatma seviyesi masa yüksekliğinde *minimum* 400 lüks sağlanacak şekilde ayarlanmış ve aydınlatmanın homojenliğini farklı bina içi senaryolarda ortaya koymak için aydınlık homojenliği oranı (AHO) değerleri elde edilmiştir. Ek olarak, güvenli haberleşme için önemli bir parameter olan elektriksel sinyal gürültü oranı değerleri dikkate alınan her senaryo için fotodetektör (PD) düzleminde hesaplanmış ve *minimum* değer olarak 45 dB elde edilmiştir. Simülasyon sonuçları LED dizilerinin (VAP) sayısı arttıkça kestirilen konumun ortalama karesel hata (OKH) değerinin azaldığını göstermiştir. VAP sayısı 12 ve 16 olduğu durumda en iyi OKH değeri elde edilmiştir. Bununla birlikte AHO değeri daha iyi olan 16 VAP içeren senaryonun daha tercih edilebilir olduğu ortaya konmuştur. Aydınlatma açısından bakıldığında tüm senaryolarda ortalama 450 lüks üzerinde aydınlık düzeyi sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Görünür ışık konum belirleme, RSSI, Trilaterasyon, CDMA.

\* Corresponding Author: <sup>1</sup>Department of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Aksaray University, Aksaray, Turkey, ORCID: 0000-0001-8972-9970, [yasincelik@aksaray.edu.tr](mailto:yasincelik@aksaray.edu.tr)



## 1. Introduction

The Global Positioning System (GPS) is widely used in outdoor environments in order to provide positioning and navigation. In challenging environments, however, such as indoor environments, GPS is inefficient and discontinuous due to the degraded and interrupted signals transmitted by satellites. As an alternative, indoor positioning systems (IPS) using indoor wireless signals such as WiFi, Bluetooth, radio frequency identification (RFID) have been proposed to fulfill the drawbacks of GPS signals, though, such systems have lower positioning accuracy and high costs [1]. Furthermore, RF solutions are not convenient to be used in some environments such as healthcare facilities, highly flammable industrial environments, aeroplanes etc., due to sensitivity to electromagnetic interference (EMI). Besides, RF spectrum is intensively used for data transfer so there is no enough spectrum for other systems [2].

Recently, positioning systems based on light emitting diodes (LEDs) have become very popular where visible light signals are used instead of RF signals. An LED was previously known for its important features, some of which are high bandwidth and high speed wireless data transmission, energy-efficient technology, long lifetime with reliable illumination and cost-efficiency. Thanks to these properties, an LED can be used for illumination and positioning, *simultaneously*. Therefore, it is predictable that the novel indoor localization technology is based on visible light positioning (VLP) systems utilizing LEDs [3]-[8]. Besides, these systems provide more accurate results (0.1-0.35 m positioning error) when compared to WiFi (1-7 m), Bluetooth (2-5 m), RFID ( $\leq 2$  m) [9].

In the positioning systems literature, several techniques are proposed to find the target position, which are time of arrival (ToA), time difference of arrival (TDoA), angle of arrival (AoA), and received signal strength indication (RSSI) [10]. Among these, the RSSI based distance measurement with trilateration algorithm is standing out due to simplicity and low-cost. However, in VLP, RSSI is generally applied with the special case: line-of-sight (LOS) link characteristics [11]-[15].

Since luminous fluxes from the LEDs are dispersed around the room and this creates reflecting (non-line-of-sight, NLOS) components from the walls, ceiling, and any other surfaces within the room, the NLOS link has a considerable contribution to the received light intensity. Thus, the reflecting components must be taken into account for the RSSI-based VLP systems because of their negative impact on system performance metrics. In [16], NLOS components up to three bounces are investigated for the systems mentioned and the distance error performances are obtained both for LOS and NLOS components in the whole room. In the study [17], the reflections of the indoor environment are taken into account and the received signals are simulated at harsh locations inside the room, e.g. corners and wall edges. Strong reflecting signals are detected and their impact on the positioning error is also investigated. In another study [18], a hybrid algorithm is used to select four strongest LED signals with multipath reflections for approximate coordinate estimation then, weighted centroid algorithm is introduced to detect position. In the work [19], the performance of RSSI-based VLP system with NLOS components is evaluated using the received optical power levels from LEDs under the condition of both noisy and noiseless channel. The accuracy of *10 cm* on average is achieved at an SNR value of greater than *12 dB*. However, all these studies are based on a single indoor configuration using *generally* four LEDs.

For a 2-D position estimation with trilateration algorithm, at least three LEDs should be used with known locations in the VLP scenario. As well as the average SNR on the detector plane, the individual SNR of each LED also determines the performance of the system [20]. Therefore, the minimum value of the individual SNR has to be maximized to achieve the best distance error performance. This is the main motivation of our study as we investigate the effect of LED deployment via considering various number of LEDs in the indoor scenario on the performance of RSSI based VLP system. Besides, the illumination is also considered for proper task lighting at the desk height. The main contribution of this paper is to present the relationship between the MSE of the distance and the number of VAPs placed on the ceiling.

## 2. Material and Method

### 2.1. System Model

In this study, an indoor VLP system using multiple visible access points (VAPs) as transmitters (Tx) and a single photo-detector (PD) as a receiver (Rx) is considered. To transmit different data from the VAPs in the same room, the Optical Code Division Multiple Access (OCDMA), which is easily realized by On-Off Keying (OOK) and Walsh codes, is used as the multiplexing technique [21]. In this technique, each VAP is mapped to a unique code to represent its identity and also position information. The DC bias signal is used to modify the bipolar codes to unipolar ones at the Tx side. Another DC signal, the turn-of-voltage (TOV), is subsequently added to unipolar OCDMA signal. Thus, the resulting electrical signal becomes suitable for driving the LEDs. The received electrical signal at the Rx side,  $y$ , is given by

$$y = \mathbf{h}\mathbf{x} + n, \quad (1)$$

where  $\mathbf{h}$  and  $\mathbf{x}$  represents the  $l \times N_t$  channel gain vector and  $N_t \times 1$  transmitted symbol vector, respectively. Here  $N_t$  denotes the number of VAPs, and  $n$  is the noise parameter. The total noise in the receiver is the sum of the shot noises and the thermal noise. The shot noise due to background radiation is the dominant one among the other shot noises reasoned from received signal and dark current. The thermal noise, which is modelled by the additive white Gaussian noise (AWGN) independent of the transmitted signal, however, is



always dominant in such systems. Therefore, we consider  $n$  as a zero mean Gaussian random variable with a variance of  $\sigma^2 = N_0/2$  per dimension.

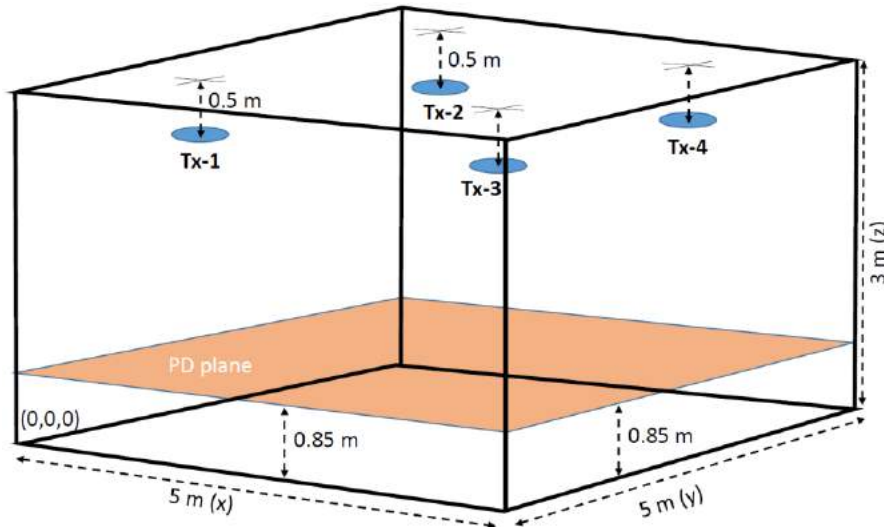


Figure 1. Indoor geometry for  $N_t = 4$ .

The transmitted signal from each LED in the  $i^{th}$  VAP,  $x_i(t)$ , is given by

$$x_i(t) = s_i(t) + \Delta + \Lambda, \tag{2}$$

where  $s_i(t)$  corresponds to the OCDMA signal,  $\Delta$  is the DC bias signal, and  $\Lambda$  is the TOV. The optical power emitted from each LED in the VAP,  $P_i^o$ , is obtained as

$$P_i^o = \frac{1}{T_c} \int_0^{T_c} x_i(t) dt, \tag{3}$$

where  $T_c$  is the chip period of the  $s_i(t)$ . Thus,  $P_i^o$  corresponds to the time average of  $x_i(t)$ , which is equal to the  $\Delta + \Lambda$ , since the  $s_i(t)$  is inherently a zero mean signal over one chip period [21].

The DC part of the received signal is removed before the correlation operation so that the orthogonality between codes are remained. After decoding the CDMA signal, the VAP identification and also the RSSI information is determined for each VAP. The bit error ratio (BER) of  $10^{-4}$  is achieved in the OCDMA up to 16 users with modified bipolar codes under the SNR of 15 dB. This BER value is sufficient enough to ensure reliable communication with error correcting codes [22]. In this study, it is shown that the SNR value is much higher than 15 dB in the whole room and perfect synchronization is assumed. Thus, the multiple access interference (MAI) is completely prevented. On the other hand, the VLP system uses low data rates so that the correlation bandwidth of the channel is larger than the bandwidth of the data signal. In Fig. 2, power delay profile (pdp) of the channel is shown for two different indoor scenarios and it is seen that the correlation bandwidth of the channel is larger than 50 MHz, which is much larger than the signal bandwidth. Therefore, inter-symbol interference (ISI) is not a problem encountered in this study, as well.

$N_t$  circles are taken into account to determine the VAPs locations in the  $xy$ -plane, specifically,  $z = 2.5$  m constant ceiling plane. To guarantee uniform illumination in the room and to obtain the best individual SNRs reasoned from each VAPs, it is ensured that  $N_t$  imaginary circles are placed in the ceiling plane with equal and also maximum diameter. Then, the centers of the circles are determined as the  $x$  and  $y$  positions of the VAPs. These positions for different number of VAPs are given in Table 1.

Table 1.  $x$ - $y$  positions of VAPs.

$N_t$	$x$ - $y$ positions (m)
4	{1.25-1.25; 1.25-3.75; 3.75-1.25; 3.75-3.75}
5	{1.03-1.03; 3.96-1.03; 2.50-2.50; 1.03-3.96; 3.96-3.96}
8	{0.85-0.85; 4.14-0.85; 2.50-1.29; 1.29-2.50; 3.70-2.50; 2.50-3.70; 0.85-4.14; 4.14-4.14}
9	{0.83-0.83; 2.50-0.83; 4.16-0.83; 0.83-2.50; 2.50-2.50; 4.16-2.50; 0.83-4.16; 2.50-4.16; 4.16-4.16}
12	{0.70-0.70; 3.10-0.70; 1.90-1.46; 4.29-1.46; 0.70-2.12; 3.10-2.12; 1.90-2.87; 4.29-2.87; 0.70-3.54; 3.10-3.54; 1.90-4.29; 4.29-4.29}
16	{0.62-0.62; 1.87-0.62; 3.12-0.62; 4.37-0.62; 0.62-1.87; 1.87-1.87; 3.12-1.87; 4.37-1.87; 0.62-3.12; 1.87-3.12; 3.12-3.12; 4.37-3.12; 0.62-4.37; 1.87-4.37; 3.12-4.37; 4.37-4.37}

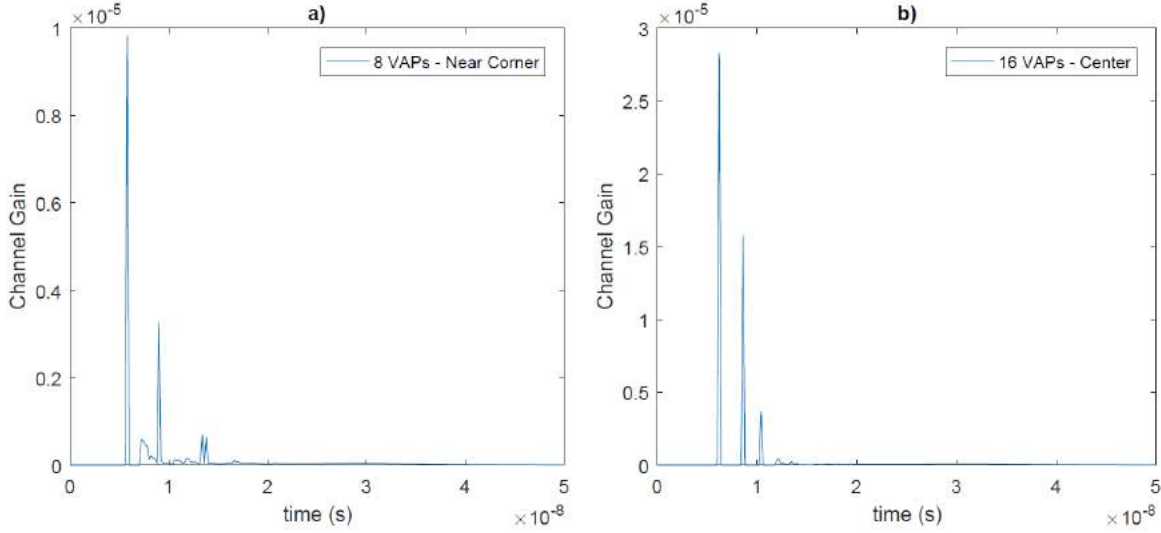


Figure 2. Power delay profile of the channel; a) 8 VAPs with receiver position close to the corner (0.5, 0.5, 0.85), a) 16 VAPs with receiver position at the center (2.5, 2.5, 0.85).

## 2.2. Optical Received Power

The schematic diagram of VLP system with four VAPs is given in Fig. 1. In our indoor scenario, LOS and NLOS link with three reflections are both considered for different numbers of Tx, specifically,  $N_t = 4, 5, 8, 9, 12$  and 16. The respective channel coefficient of the optical links between the  $i^{\text{th}}$  VAP and the PD is represented by  $h_i$ . Thus,  $h_i$  is comprised of two components  $h_i^{\text{LOS}}$  and  $h_i^{\text{NLOS}}$  and given by,

$$h_i = h_i^{\text{LOS}} + h_i^{\text{NLOS}}, \quad (4)$$

Given that the LEDs have a Lambertian radiation pattern,  $h_i^{\text{LOS}}$  can be given as follows

$$h_i^{\text{LOS}} = \begin{cases} \frac{(m+1)A}{2\pi d_i^2} \cos^m(\alpha_i) \cos(\beta_i), & \left| \frac{\beta_i}{\text{FOV}} \right| \leq 1, \\ 0, & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (4a)$$

where  $m$  is the Lambertian emission order of planar LEDs, and depends on semi-angle at half power [19].  $A$  is the effective area of the PD,  $d_i$  is the distance in meters between the  $i^{\text{th}}$  VAP and the PD, and  $\text{FOV}$  is the field of view of the PD.  $\alpha_i$  denotes the angle of emergence measured from the Tx normal to the link between the  $i^{\text{th}}$  VAP and the PD. Similarly,  $\beta_i$  is the angle of incidence with respect to the PD normal. Since the normal vectors of VAPs and PD are parallel to each other,  $\alpha_i$  is equal to  $\beta_i$  for the LOS link.

The indoor surfaces are generally *rough* relative to the wavelength of visible light, hence, most of the reflections of the VLP signals naturally have diffuse characteristics. We may assume that the reflective surfaces are divided into differential areas which also emit light intensity in a diffuse manner regardless of the angle of incidence. Therefore, we may say that each differential element has a Lambertian radiation pattern [24]. Then, the NLOS components from the  $i^{\text{th}}$  VAP with  $k$  bounces are given as follows

$$h_i^{\text{NLOS}(k)} = \begin{cases} L_i^{(1)} L_i^{(2)} \dots L_i^{(k+1)}, & \left| \frac{\beta_i^{(k+1)}}{\text{FOV}} \right| \leq 1, \\ 0, & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (4b)$$

where

$$\begin{aligned} L_i^{(1)} &= \frac{(m+1)dA}{2\pi d_{i(1)}^2} \cos^m(\alpha_i^{(1)}) \cos(\beta_i^{(1)}), \\ L_i^{(2)} &= \frac{dA}{\pi d_{i(2)}^2} \cos^m(\alpha_i^{(2)}) \cos(\beta_i^{(2)}) \rho_i^{(2)}, \\ L_i^{(k+1)} &= \frac{dA}{\pi d_{i(k+1)}^2} \cos^m(\alpha_i^{(k+1)}) \cos(\beta_i^{(k+1)}) \rho_i^{(k+1)}. \end{aligned} \quad (4c)$$

Here  $dA$  is the area of differential reflecting element.  $d_{i(l)}$  is the link distance between  $i^{\text{th}}$  VAP and the first reflecting element. In a similar manner,  $d_{i(n+1)}$  is the link distance after  $n^{\text{th}}$  bounce where  $n = \{1, 2, \dots, k\}$ , in this study,  $k = 3$ .  $\alpha_i^{(l)}$  and  $\beta_i^{(l)}$  are the angle of

emergence from  $i^{th}$  VAP and the angle of incidence to the first reflecting element, respectively. Similar to the distances,  $\alpha_i^{(n+1)}$  and  $\beta_i^{(n+1)}$  denotes the angle of emergence and the angle of incidence after  $n^{th}$  bounce from  $i^{th}$  VAP, respectively.  $\rho_i^{(n+1)}$  is the reflectivity coefficient of the  $n^{th}$  reflecting surface averaged over the visible light spectrum [24]. Then, the overall channel gain of the  $i^{th}$  VAP is given as

$$h_i = h_i^{LOS} + \sum_{n=1}^k h_i^{NLOS(n)}, \quad (5)$$

Since the effect of ISI is ignored, the intensity of light emitted during a symbol period is received within the same symbol interval. Therefore, the optical channel is comprised of intensity gathered in a symbol period regardless of time. Without loss of generality, the gain of the optical filter,  $T_s(\beta)$ , and the gain of the optical concentrator,  $G(\beta)$ , is assumed to be 1. Finally, the total optical received power is obtained as follows

$$P_r^o = \sum_{i=1}^{N_t} P_i^o h_i, \quad (6)$$

Optical power emitted from each LED,  $P_i^o$ , is 0.45 W. To make a fair comparison between indoor scenarios with different numbers of VAPs, the total power is kept constant. Therefore, the number of LEDs included in the VAPs depends on the number of VAPs considered. Table 2 exhibits the number of LEDs in VAPs,  $N_{led}$ , and the optical power of VAPs.

Table 2. VAP Parameters.

$N_t$	$N_{led}$	VAP Power	Total Power
4	180	81 W	324 W
5	144	64.8 W	
8	90	40.5 W	
9	80	36 W	
12	60	27 W	
16	45	20.25 W	

### 2.3. Horizontal Illuminance

For ergonomic lighting at the desk height in an office environment, it is necessary to achieve a certain illuminance which is 400 lux, minimally. The span of the illuminance in the whole room should be 200-800 lux, as well [23]. The homogeneity of lighting, on the other hand, is another important issue that is measured by the uniformity illuminance ratio (UIR). This parameter is described as the ratio of the minimum to the average illuminance. According to the lighting experts, the UIR should be over 0.7 [25].

The horizontal illuminance,  $I_h$ , is the amount of light hitting to the PD plane. By making use of the optical received power on the PD plane,  $I_h$  is defined as follows

$$I_h = \frac{P_r^o \kappa}{A}, \quad (7)$$

where  $\kappa$  is the luminous efficacy depending on the light source efficiency. In this study, we consider typical off-the-shelf OSRAM LWG6CP LEDs with a luminous efficacy of 46 lm/W and a viewing angle of 120° at half power. Using an LED with a wide viewing angle is practical because it reduces the number of LEDs needed for room lighting [23].

### 2.4. RSSI-Based Positioning

This section evaluates the indoor positioning algorithm based on the RSSI and the trilateration method. By means of the CDMA decoder, the Rx unit separates the signal received from all VAPs with orthogonal codes, determines the location of the VAPs, and simultaneously measures the received electrical power from each VAP. The RSSI algorithm is, then, used to obtain at least three horizontal distances from the three known positions in the  $xy$ -plane, and by applying the trilateration method, the Rx position information is obtained.

#### 2.4.1. Trilateration Method

The received electrical power from the  $i^{th}$  VAP,  $P_{r(i)}^e$ , can be given by

$$P_{r(i)}^e = (P_i^o h_i^o R)^2, \quad (8)$$

where  $R$  denotes the PD responsivity. PDs used in optical communication are square-law devices; this means that the electrical power at the output of the detector is proportional to the square of the optical power at the input. This is due to the fact that for photons acting

on their active area, they generate a number of charge carrier proportional to the quantum efficiency. Thus the electrical current is proportional to the optical power. Naturally, electrical power is proportional to the square of optical power. From Eq. (8), it can easily be understood that  $P_{r(i)}^e$  relates to the channel gain as well as the distance between VAPs and the Rx unit. Therefore, with the help of Eq. (4a) and Eq. (8), for the LOS link, the horizontal distance between the  $i^{th}$  VAP and Rx unit can be written as follows

$$d_i = \sqrt{(2m+6) \frac{(RP_i^o(m+1)Ad_h^{(m+1)})^2}{4\pi^2 P_{r(i)}^e}}, \quad (9)$$

where  $d_h$  is the vertical distance between VAPs and the Rx plane, specifically,  $d_h = 1.65 \text{ m}$ . The position of Rx unit can be obtained by calculating the distances between the Rx unit and at least three projection positions of VAPs on the  $xy$ -plane. By means of the trilateration method, the distance equations can be given by [10]

$$\begin{aligned} d_1^2 &= (x_R - x_1)^2 + (y_R - y_1)^2 + (z_R - z_1)^2, \\ d_2^2 &= (x_R - x_2)^2 + (y_R - y_2)^2 + (z_R - z_2)^2, \\ d_3^2 &= (x_R - x_3)^2 + (y_R - y_3)^2 + (z_R - z_3)^2, \end{aligned} \quad (10)$$

where  $(x_R, y_R, z_R)$  is the coordinate of the Rx unit in three-dimensional space. Similarly,  $(x_i, y_i, z_i)$  is that of  $i^{th}$  VAP. Since the last terms at the right-hand sides of Eq. (10) are all the same, subtracting the second and third equations from the first one results in the following matrix form: [10]

$$\mathbf{b} = \mathbf{A}\mathbf{x}, \quad (11)$$

where

$$\begin{aligned} \mathbf{b} &= \frac{1}{2} \begin{bmatrix} d_1^2 - d_2^2 + x_2^2 + y_2^2 - x_1^2 - y_1^2 \\ d_1^2 - d_3^2 + x_3^2 + y_3^2 - x_1^2 - y_1^2 \end{bmatrix}, \\ \mathbf{A} &= \begin{bmatrix} x_2 - x_1 & y_2 - y_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_R \\ y_R \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (11a)$$

With the help of the linear least squares method, Eq. (11) can be solved  $\hat{\mathbf{x}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{b}$  [10]. The distance,  $d_i$ , is calculated over the received signal strength of the LOS link but the  $P_{r(i)}^e$  includes AWGN noise as well as NLOS link contribution. Thus, the determined distance can not be the precise value of  $d_i$ . Finally, all system parameters considered in this study are summarized in Table 3.

Table 3. Parameters of The Considered VLP System.

Length of the room (X)	5 m
Width of the room (Y)	5 m
Height of the room (Z)	3 m
No. of Transmitters ( $N_t$ )	4, 5, 8, 9, 12, 16
LED distance from the ceiling	0.5 m
Elevation of the LEDs	-90°
Azimuth of the LEDs	0°
Semi-angle at half power ( $\phi_{1/2}$ )	60°
Lambertian order (m)	1
Power of the LED ( $P_i^o$ )	$0.45 \sqrt{W}$
Luminous efficacy of the LED ( $\kappa$ )	46 lm/W
PD height from the floor	0.85 m
Elevation of the PD	90°
Azimuth of the PD	0°
Responsivity (R)	$0.4 A/\sqrt{W}$
Area of the PD (A)	$0.0001 \text{ m}^2$
Field of view of the PD (FOV)	70°
Wall reflectivity coefficient ( $\rho_w$ )	0.8
Ceiling reflectivity coefficient ( $\rho_c$ )	0.5
Floor reflectivity coefficient ( $\rho_f$ )	0.3
Area of differential elements (dA)	$0.04 \text{ m}^2$

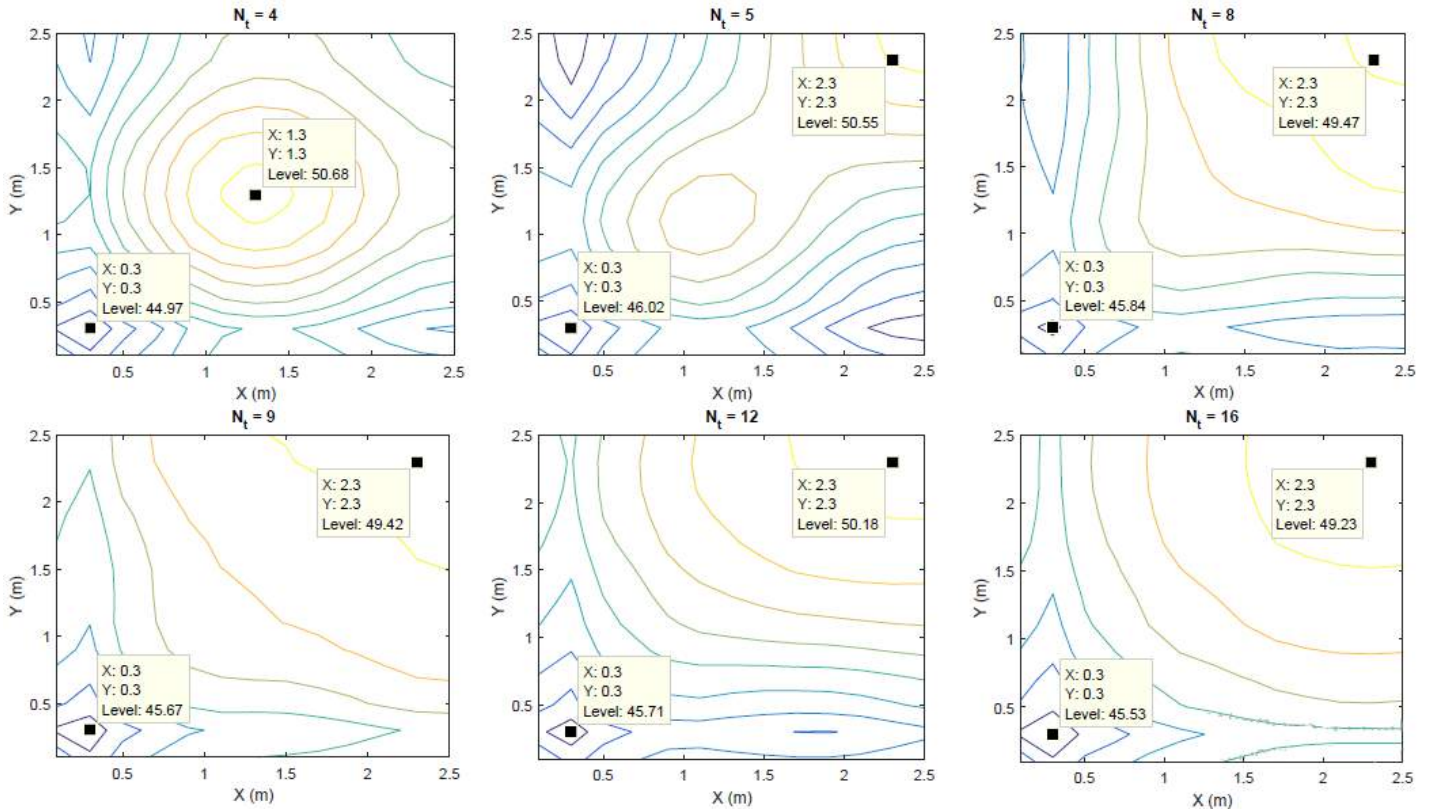


Figure 3. Overall link electrical SNR distribution for the RSSI based VLP with respect to different number of VAPs.

### 2.4.2. SNR Analysis

As the signal strength is highly sensitive to the indoor environment, the RSSI method is naturally sensitive to noise. Hence, to obtain realistic results noise in a VLP system should not be neglected. In our system model, Gaussian noise with a variance of  $\sigma^2$  is considered as mentioned previously. Additionally, SNR is a crucial parameter for evaluating the performance of a VLP system. Then, the individual electrical SNR for the  $i^{th}$  VAP can be written as

$$SNR_i = \frac{P_{r(i)}^e}{\sigma^2}. \quad (12)$$

As stated in Section 2, the shot and thermal noises are both considered as additive noise sources. To calculate the variance of AWGN, the noise parameters in [26] are taken into consideration, and the noise power, which is equal to the  $\sigma^2$  due to the zero mean, is calculated as  $2.5 \times 10^{-12} W$ . In the presence of AWGN, at least three distance estimates are required, among which the *longest* distance that causes the minimum individual SNR determines the VLP performance. To achieve acceptable distance error performance, therefore, the minimum individual SNR should be maximized. This is where the effect of LED deployment comes into play. Additionally, LED deployment also reduces the disruptive effect of NLOS components where reflections up to three bounces are considered here.

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Simulation Results

In this section, the illuminance, SNR distribution and distance error performances with respect to the number of VAPs,  $N_i$ , are presented for the considered indoor scenarios. As exhibited in Table 2, to make a fair comparison for all cases, the optical power transmitted in a symbol period is assumed to be 324 W. In Table 4, the statistics of illuminance and received SNR, and also the mean square error (MSE) of distance are summarized according to the simulation results. It is worthy to note that the SNR given in the table is calculated via the electrical power, hence, we may say that the values regard to electrical SNR. Since the quarters of the room have the same electrical SNR distribution due to symmetry, only one quarter is shown in Fig. 3. The localization errors calculated as the Euclidean distance between the exact position and the estimated position obtained by the linear least squares algorithm are presented for the varying number of VAPs in Fig. 4.

The simulation results have shown that the cases for  $N_t = 5, 8, 9$  and  $16$  are sufficient enough in terms of the UIR parameter since they both are greater than the proposed minimum value of  $0.7$ . Furthermore, the best minimum SNR calculated in electrical manner is obtained for the case of  $N_t = 8$  whereas maximum SNR is recorded for  $N_t = 5$ . The MSE of distance for  $N_t = 12$  and  $16$  are the best, however, the scenario with  $16$  VAPs is preferable with a better UIR parameter. In terms of illumination, all the cases have the average illumination value which are more than  $450$  lux.  $I_h$  (%) corresponds to the percentage of the area with illuminance above  $400$  lux.



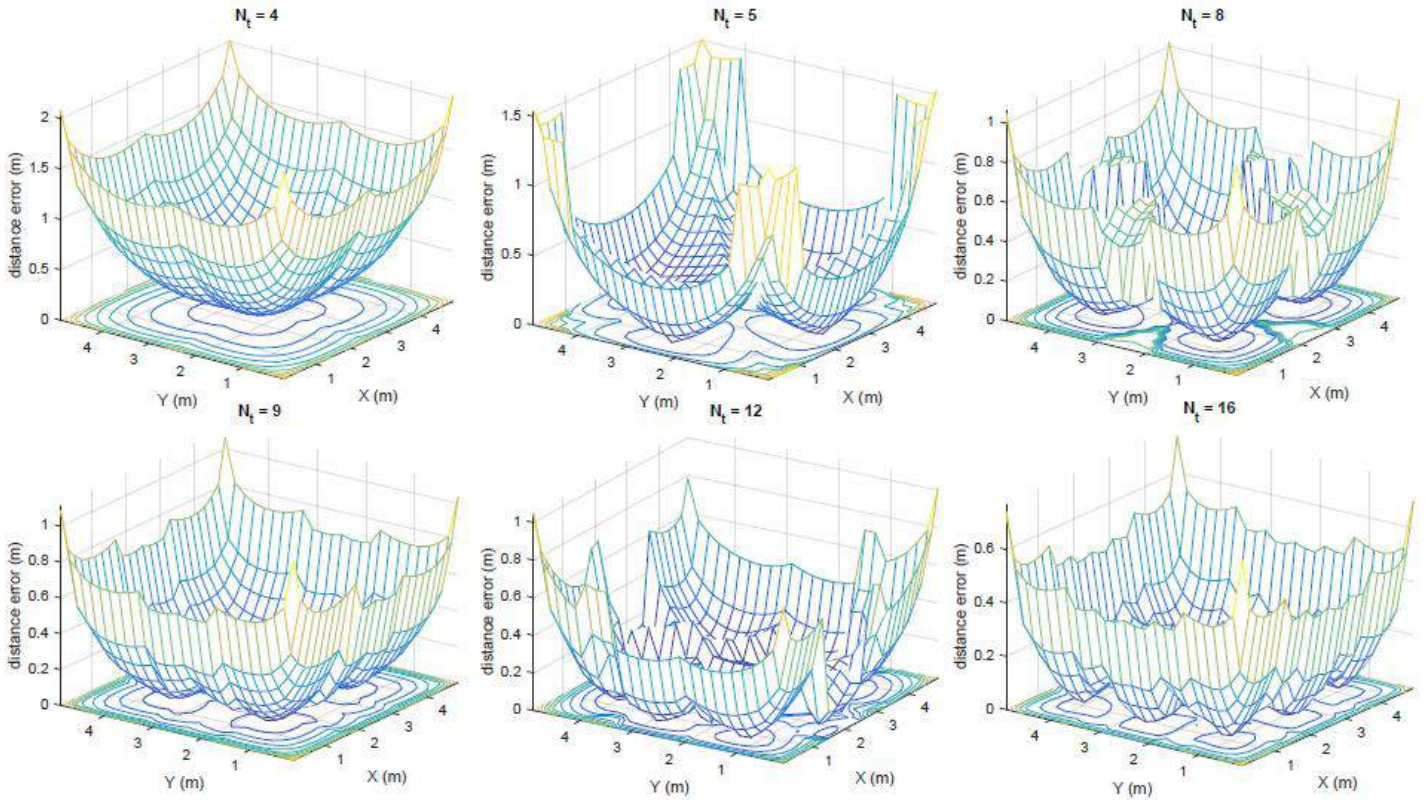


Figure 4. Distance error for the RSSI based VLP for different number of VAPs in the presence of NLOS link.

Table 4. Statistics of Illuminance, SNR Distribution, and MSE of Distance.

Overall Link	Nt=4	Nt=5	Nt=8	Nt=9	Nt=12	Nt=16
$I_h$ (max), lux	622	627	554	542	589	526
$I_h$ (min), lux	317	348	351	344	265	338
$I_h$ (avg), lux	476	469	468	462	471	458
$I_h$ (%)	88.4	85.2	88.4	92.6	83.6	89.7
UIR	0.66	0.74	0.74	0.74	0.56	0.73
SNR (max), dB	50.6	50.7	49.6	49.4	50.2	49.2
SNR (min), dB	44.8	45.6	45.7	45.5	43.2	45.4
$d_{mse}$ , m	0.68	0.34	0.29	0.27	0.18	0.18

## 4. Conclusions and Recommendations

In this study, we have considered the effect of LED deployment with different number of VAPs,  $N_t$ , placed on the ceiling plane of a 2-D VLP system. The system is modeled mathematically utilizing the RSSI technique under the constraint of minimally 400 lux illumination at the desk height. As maximizing the individual SNR of each VAP increases the system performance of the whole VLP system, we aimed to obtain homogeneous illumination with the considered scenario. In this aspect, we have presented here the results of illumination, electrical SNR and also distance errors both evaluated with respect to  $N_t = 4, 5, 8, 9, 12$  and  $16$ . The simulation results have shown that the MSE of the distance is reduced with an increase in the number of VAPs. The MSE of distance for  $N_t = 12$  and  $16$  are almost the same, however, the scenario with 16 VAPs is preferable with a better UIR parameter. As a conclusion, in this study, detailed results for system performances of six different VLP scenarios are presented. For future studies, it would be intriguing to investigate the effects of different parameters, such as FOV, on distance error performance with respect to LED deployment scenarios.

## 5. Acknowledge

This study was supported by Aksaray University Scientific Research Fund, grant number 2019-009.

## References

- [1] Do, T.-H. and Yoo, M. 2016. An in-depth survey of visible light communication based positioning systems, *Sensors*, 16, 5, pp. 1–40. <https://doi.org/10.3390/s16050678>
- [2] Khan, L.U. 2017. Visible light communication: Applications, architecture, standardization and research challenges, *Digital Communications and Networks*, 3, 2, pp. 78–88. <https://doi.org/10.1016/j.dcan.2016.07.004>
- [3] Tanaka, T. and Haruyama, S. 2009. New position detection method using image sensor and visible light LEDs, in *Proc. IEEE 2nd Int. Conf.*, pp. 150–153, Dubai, United Arab Emirates. <https://doi.org/10.1109/ICMV.2009.44>
- [4] Hann, S., Kim, J.-H., Jung, S.-Y., and Park, C.-S. 2010. White led ceiling lights positioning systems for optical wireless indoor applications, in *Proc. 36th Eur. Conf. Exhib. Opt. Commun.*, pp. 1–3, Torino, Italy. <https://doi.org/10.1109/ECOC.2010.5621490>
- [5] Lou, P., Zhang, H., Zhang, X., Yao, M. and Xu, Z. 2012. Fundamental analysis for indoor visible light positioning system, in *Proc. 1st IEEE Int. Conf. Commun. China Workshops*, pp. 59–63, Beijing, China. <https://doi.org/10.1109/ICCCW.2012.6316475>
- [6] Lee, Y. U. and Kavehrad, M. 2012. Two hybrid positioning system design techniques with lighting LEDs and ad-hoc wireless network, *IEEE Trans. Consumer Electron.*, 58, 4, pp. 1176–1184. <https://doi.org/10.1109/TCE.2012.6414983>
- [7] Yasir, M., Ho, S.-W., and Vellambi, B. 2014. Indoor positioning system using visible light and accelerometer, *J. Lightw. Technol.*, 32, 19, pp. 3306–3316. <https://doi.org/10.1109/JLT.2014.2344772>
- [8] Hassan, N. U., Naem, A., Pasha, M. A., Jadoon, T., and Yuen, C. 2015. Indoor positioning using visible LED lights: A survey," *ACM Comput. Surveys*, 48, 2, pp. 1–32. <https://doi.org/10.1145/2835376>
- [9] Zhuang, Y., and et. al., 2018. A Survey of Positioning Systems Using Visible LED Lights, *IEEE Comm. Surveys Tutorials*, 20, 3, pp. 1963–1988. <https://doi.org/10.1109/COMST.2018.2806558>
- [10] Hui, L., Darabi, H., Banerjee, P., and Jing, L. 2007. Survey of wireless indoor positioning techniques and systems, *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.*, 37, 1, pp. 1067–1080. <https://doi.org/10.1109/TSMCC.2007.905750>
- [11] Ziyang, J. 2012. A visible light communication based hybrid positioning method for wireless sensor network, in *Second Int. Conf. on Intelligent System Design and Engineering Application (ISDEA)*, pp. 1367–1370, Sanya, Hainan, China. <https://doi.org/10.1109/ISdea.2012.411>
- [12] Hyun-Seung K. and et al., 2013. An indoor visible light communication positioning system using a RF carrier allocation technique, *J. Lightwave Technol.*, 31, pp. 134–144. <https://doi.org/10.1109/JLT.2012.2225826>
- [13] Yang, S.-H., and et al., 2013. Indoor three-dimensional location estimation based on LED visible light communication, *Electron. Lett.*, 49, 1, pp. 54–56. <https://doi.org/10.1049/el.2012.3167>
- [14] Li, L., Hu, P., Peng, C., Shen, G., and Zhao, F. 2014. Epsilon: A visible light based positioning system, in *Proc. 11th USENIX Symp. Netw. Syst. Design Implement. (NSDI)*, pp. 331–343, Seattle, WA, USA.
- [15] Zhang, W., Chowdhury, M. I. S., and Kavehrad, M., 2014. Asynchronous indoor positioning system based on visible light communications," *Opt. Eng.*, 53, 4, pp. 1–10. <https://doi.org/10.1117/1.OE.53.4.045105>
- [16] Mohammed, N. A., and Elkarim, M. A. 2015. Exploring the effect of diffuse reflection on indoor localization systems based on RSSI-VLC, *Opt. Exp.*, 23, 16, pp. 20297–20313. <https://doi.org/10.1364/OE.23.020297>
- [17] Gu, W., Aminikashani, M., Deng, P., and Kavehrad, M. 2016. Impact of multipath reflections on the performance of indoor visible light positioning systems, *J. Lightw. Technol.*, 34, 10, pp. 2578–2587. <https://doi.org/10.1109/JLT.2016.2541659>
- [18] Tang, W., Zhang, J., Chen, B., Liu, Y., et. al, 2017. Analysis of indoor VLC positioning system with multiple reflections," in *16th Int. Conf. on Optical Comm. and Networks (ICOCN)*, pp. 1–3, Wuzhen, China. <https://doi.org/10.1109/ICOCN.2017.8121297>
- [19] Mousa, F. I. K. and et. al., 2018. Indoor visible light communication localization system utilizing received signal strength indication technique and trilateration method, *Optical Engineering*, 57, 1, pp. 1–10. <https://doi.org/10.1117/1.OE.57.1.016107>
- [20] Xu, Y., and et. al., 2017. Accuracy analysis and improvement of visible light positioning based on VLC system using orthogonal frequency division multiple access, *Optics Express*, 25, 26, pp. 32618–32630. <https://doi.org/10.1364/OE.25.032618>
- [21] Lausnay, S. D. and et al., 2015. Influence of MAI in a CDMA VLP system," in *Proc. International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, Banff, AB, Canada. <https://doi.org/10.1109/IPIN.2015.7346949>
- [22] Qiu, Y., and et al., 2018. Visible Light Communications Based on CDMA Technology," *IEEE Wireless Communications*, 25, 2, pp. 178–185. <https://doi.org/10.1109/MWC.2017.1700051>
- [23] Grubor, J., and et., al. 2008. Broadband Information Broadcasting Using LED-Based Interior Lighting, *J. Lightw. Technol.*, 26, 24, pp. 3883–3892. <https://doi.org/10.1109/JLT.2008.928525>
- [24] Lee, K., Park, H., and Barry, J. 2011. Indoor Channel Characteristics for Visible Light Communications, *IEEE Commun. Lett.*, 15, 2, pp. 217–219. <https://doi.org/10.1109/LCOMM.2011.010411.101945>

- [25] Ding, J.P. and Ji, Y.F. 2012. Evolutionary algorithm-based optimisation of the signal-to-noise ratio for indoor visible-light communication utilising white light-emitting diode, *IET Optoelectronics*, 6, 6, pp. 307–317. <https://doi.org/10.1049/iet-opt.2012.0044>
- [26] Xueli, Z., Jingyuan, D., Yuegang, F., and Ancun, S. 2014. Theoretical accuracy analysis of indoor visible light communication positioning system based on received signal strength indicator, *J. Lightwave Technol.*, 32, 21, pp. 4180–4186. <https://doi.org/10.1109/JLT.2014.2349530>



## Açık Devlet Verisi Süreçlerine Dair Bir Model Önerisi

Ahmet Ercan Topcu<sup>1,2\*</sup>, Abdullah Işık<sup>3</sup>

<sup>1</sup> College of Engineering and Technology, American University of the Middle East, Kuwait (ORCID: 0000-0003-1929-5358)

<sup>2</sup> Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1929-5358)

<sup>3</sup> Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8344-025X)

(İlk Geliş Tarihi 3 Eylül 2019 ve Kabul Tarihi 4 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.614933)

**ATIF/REFERENCE:** Topcu, A. E. & Işık, A. (2019). Açık Devlet Verisi Süreçlerine Dair Bir Model Önerisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 833-843.

### Öz

Kamu kurumları sundukları hizmetler sonucunda oldukça büyük miktarda veri barındırmaktadır ve barındırmayı da sürdürecektir. Birçok veri seti hassas içerik barındırmamasına rağmen genellikle erişime açık olmamakta ve bu veri setlerinden fayda sağlanamamaktadır. Her ne kadar farklı formatta ve başlıkta veri setleri söz konusu olsa da, bilgi teknolojilerindeki gelişmeler bu veri setlerinin diğer verilerle bağlanmasını ve paylaşımını oldukça kolay bir hale getirmektedir. Dünyada ekonominin veri odaklı olmasının da etkisiyle son yıllarda birçok ülke ellerindeki veriden en üst seviyede yararlanabilmek için veri ve bilgileri bilgisayarca okunabilir formatta belirli bir kullanım koşuluyla paylaşarak açık devlet verisi süreçlerini uygulamaya sokmuştur. Kamu verisinin açılması aynı zamanda hesap verilebilirliği artıracak, daha kaliteli ve yeni hizmetlere olanak sağlayacak, operasyon maliyetini düşürecek, kamu ve özel sektörde açık inovasyonu teşvik edecektir. Bu çalışmada amaç; birçok kaynaktan farklı tanımlarla ifade edilen açık devlet verisine yönelik kapsayıcı bir tanım ortaya koymak, açık devlet verisini yapısal özellik, gelişim ve ihtiyaç sebebi, riskler ve potansiyel engeller, ekonomik boyut, standartlar, açık lisans, ölçümleme, araçlar başlıklarını içeren bir çerçeve üzerinde ele almak ve kamu verisini açmaya yönelik bir model ortaya koymaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Açık Devlet Verisi, Açık Devlet, Bilgi Ekonomisi, Katılımcılık, Şeffaflık, Hesap Verebilirlik.

## A New Model Proposal for Open Government Data Practices

### Abstract

Government institutions hold vast amounts of data, mostly produced through public services, and that has grown. Although these data sets have no sensitive content, usually they are not accessible and can not be benefitted. Even though data sets exist in different types and formats, developments at information technologies make it easy linking and sharing these data sets with other data. The data-driven economy is the new global approach and many countries gave start to some new open data policy approaches aim to make government data and information machine-readable. It became a new default to gain the maximum benefit from the data they have. Opening government data will also help to increase accountability, public service quality to decrease operational cost and to encourage open innovation at public and private organizations. This article aims to assert an illustration for open government data which has different definitions at many sources, to examine open government data within the scope of structure, value, potential risks, economic field, standards, open license, measurement, tools and to offer a model for the open government ecosystem.

**Keywords:** Open Government Data, Open Government, Data-Driven Economy, Participation, Transparency, Accountability.

\* Sorumlu Yazar: College of Engineering and Technology, American University of the Middle East, Kuwait, ORCID: 0000-0003-1929-5358, [ahmet.topcu@aum.edu.kw](mailto:ahmet.topcu@aum.edu.kw)



## 1. Giriş

Başta internet olmak üzere bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişmeler insanların ve kurumların içeriği üretme, tüketme ve etkileşim yöntemini tamamen değiştirmiştir. Bu değişim kamu hizmetlerinin de dönüşümüne ivme kazandırarak birçok ülkenin e-devlete yönelik dönüşümleri dijital politikalarının merkezinde olmasını sağlamıştır. Elektronik ortamda sağlanan hizmetlerin her geçen gün artması ülkedeki yönetim mekanizmasına da olumlu bir şekilde yansımaktadır. Ayrıca tüm bu gelişmeler açık devlet verisine yönelik eylem planları, kamu verisinin açılması, vb. girişimlerde de bir artış sağlamıştır. Birçok ülkede açık devlet girişimine yönelik eylem planı ya da uygulama seviyesinde girişim söz konusudur.

Kamu kurumları sundukları hizmetler sonucunda oldukça büyük miktarda veri barındırmakta, ancak birçok veri seti hassas içerik barındırmamasına rağmen erişime açık olmamakta ve bu veri setlerinden fayda sağlanamamaktadır. Bilgi teknolojilerindeki gelişmeler bu veri setlerinin paylaşımını, diğer verilerle bağlanmasını oldukça kolay bir hale getirmektedir. Bahsedilen hususlardan ötürü, birçok devlet kamu sektörü verisini açarak internet üzerinden direkt olarak vatandaşlarının erişimine açmıştır. Şeffaflığa direkt olarak etki eden bu uygulamalar aynı zamanda farklı alanlarda birçok fırsat sağlamaktadır. Ancak her ne kadar bu tarz bir girişimin yaygınlaşmasını engelleyen hususlar söz konusu olsa da devletler bu hususlara yönelik önlemler almaktadır. Tüm bunların neticesinde sivil toplum kurumları (STK), girişimciler, sivil uzmanlar ve diğer tüm kullanıcılar açık devlet verisini kullanarak topluma fayda sağlayabilecek yeni uygulamalar oluşturmaktadır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışma kapsamında; birçok akademik çalışma, kurum ve kuruluşlara ait raporlar, ülke örnekleri (eylem planları, hukuki düzenlemeler, vb.) gözden geçirilmiş, sivil toplum platformlarının faaliyetleri takip edilmiş, çeşitli endeksler ele alınmıştır. Sentezlenen bilgiler ışığında da açık devlet verisi yapısal özellik, gelişim ve ihtiyaç sebebi, riskler ve potansiyel engeller, ekonomik boyut, standartlar, açık lisans, ölçümleme, araçlar başlıkları altında incelenmiştir. Ayrıca uluslararası sivil toplum kuruluşlarının faaliyetleri ve ülkelerin açık devlet verisine yönelik politika ve uygulamaları referans alınarak çalışma dâhilinde edinilen bulgular sonucunda oluşturulan model ifade edilmiştir.

### 2.1. Açık Devlet Verisi

Açık devlet verisi tekrar kullanılması amacıyla toplanan, saklanan ve dağıtım yapılan kamu sektörü verileridir veya Parycek, Höchstl, Ginner'in belirttiği gibi kamu sektörü verilerinin kullanımı ve dağıtımında hiçbir kısıt olmadan devlet eliyle erişime açılmasıdır [1].

Açık devlet verisi kavramı kamu verilerinin erişime ve tekrar kullanıma açılması olarak tarif edilebilir. Paylaşılması halinde gizliliği, güvenliği, özel hayatı tehlikeye sokabilecek veriler ile kanunen paylaşılmayacağı belirtilmiş veriler açık devlet verisi kapsamına dâhil değildir. Kamu sektörü verileri belirli bir amaç için toplandıklarından ve belirlenen kullanım amacından daha fazlasını sunma potansiyelinden ötürü açık verinin önemli bir alt kümesidir [2].

Ubaldi paylaşılması halinde ekonomik ve sosyal değer yaratabilecek veri türlerini ifade etmiştir [3]. Belirtilmiş açık devlet verisi çeşitleri: ticari bilgiler (ticaret odalarına ait bilgiler, vb.), evrak, patent ve marka, kamu ihaleleri bilgileri, coğrafik bilgiler (adres bilgileri, uydu görüntüleri, tapu ve kadastro bilgileri, ulaşım ağları, topoğrafik bilgiler), hukuki bilgiler (yerel ve ulusal mahkeme kararları, kanunlar, anlaşmalar), meteorolojik bilgiler (iklim bilgileri ve modelleri, hava tahminleri), sosyal veriler (ekonomik, işsizlik, sağlık, toplumsal ve kamu yönetimi verileri) ulaşım bilgileri (trafik yoğunluk, yol çalışma, toplu taşıma, araç kayıt, vb. veriler) şeklindedir.

Deloitte raporuna göre başarılı bir açık devlet ekosisteminde 3 anahtar paydaş söz konusudur: devlet, özel sektör ve vatandaş [4]. Her bir aktör bir diğerine farklı türde veriler sunar. Devlet bu ekosisteme "üretilen, toplanan veya vatandaşın vergisiyle satın alınan ve hassas olmayan" veriyle katkıda bulunurken, özel sektör de kurumiçi üretilen verilerini belli kısıtlamalar ile paylaşır. Vatandaş işe kişisel ya da kişisel olmayan verileriyle bu ekosistemde yer alır. Kamu sektörü verisinin açılmasının amacı dijital dünyaya adapte olabilmek ve ulusal açık veri ekosistemine katkıda bulunmaktır [5].

#### 2.1.1. Yapısal Özellik

Kamuda açık veri sürecine yönelik organizasyonların oluşturulması ve bu organizasyonların sürdürülebilirliği için açık verinin tanımının net bir şekilde yapılması ve bu tanım doğrultusunda ilgili esasların belirlenmesi oldukça önemlidir. Açık devlet verisi kavramına katkıda bulunmayı amaçlayan birçok araştırmacı ve organizasyon bu kavramın tanımına ve özelliklerine yönelik çalışmalarda bulunmuştur. Bu çalışmalardan en önemlilerinden biri Aralık 2007'de, Sebastopol'de 30 açık devlet araştırmacısının katıldığı, Public.Resource.Org tarafından organize edilen ve Sunlight Foundation, Google, Yahoo'nun da desteklediği Açık Devlet Çalışma Grubu Toplantısı'dır. Bu çalışmada açık devlet verisinin 8 karakteri ve ilgili diğer tanımlar belirlenmiştir [6]. Sebastopol listesinde yer alan ve tanımları üzerinde uzlaşılan tanımlara göre veri bütündür, ilkelidir, sürelidir, erişilebilirdir, makinece işlenebilirdir, sınırlanmamıştır, patentsizdir ve açık lisanslıdır.

ABD'de faaliyet gösteren bir sivil toplum kuruluşu olan Sunlight Foundation 2007 yılında Sebastopol, Kaliforniya'daki konferansta da yer almış ve Sebastopol listesini güncelleyerek 2010 yılında "Devlet Verisini Açmanın 10 Esası" başlığıyla bir bildiri yayınlamıştır. Bu esaslar: bütünlük, ilkelik, sürelilik, fiziksel ve elektronik ortamda kolayca erişilebilirlik, makinece okunabilirlik, fark gözetmeme, ortak veya açık standartların kullanımı, lisanslama, kalcılık, kullanım maliyeti [7] şeklindedir.



### 1.Bütünlük

Kamu kurumu tarafından paylaşılan veri setleri mümkün olduğunca tam olmalı ve toplanma maksadını iyi yansıtmalıdır. Kişisel verilerin gizliliğine yönelik regülasyonları ihlal etmeyecek tüm veriler ham halde paylaşılmalıdır. Ham veriyi tanımlayan meta veriye, anlamlı verilerin nasıl elde edildiğine dair formül ve açıklamalara da yer verilmelidir. Bahsedilen unsurların yerine getirilmesi kullanıcıların veriden en iyi şekilde yararlanmasına olanak sağlayacaktır.

### 2.İkellik

İlkel formdaki veri en modüler halde tutulan ve birleştirilmeyip herhangi bir değişiklik yapılmayan veridir. Kamu kurumları tarafından paylaşılan veri kaynaktan alındığı gibi ham halde olmalıdır. Ayrıca kullanıcıların verilerin doğru ve nizami toplandığından emin olması adına veri toplama yöntemi de belirtilmelidir. Verinin modüler ve ham halde olması ve çoklu formatta paylaşılması aynı zamanda G8 Open Data Charter dokümanında “herkesin tarafından erişilebilirlik” kısmında da yer almıştır [8].

### 3.Sürelilik

Kamu kurumları tarafından paylaşılacak veri kullanıcılara zamanında sunulmalıdır. En uygunu kamu kurumlarının veriyi topladıktan sonra hemen paylaşmasıdır. Elde edilecek faydanın zamanla ilişkisi yüksek olan verilere öncelik verilmelidir. Gerçek zamanlı güncellemeler de veriden elde edilecek faydayı artıracaktır. Verinin değerini kaybetmemesi için bir an önce sunulması gereklidir. Kamu için yararlı olacağı zaman diliminde değil de daha sonrasında verinin yayınlanmaması açık veri standartlarıyla uyumsuzdur. Birleşik Krallık Açık Veri Bildirisi’nde de “Kamu verisi güncel ve modülerdir [8]. Hükümetin açık veriye yaklaşımı bir araya getirilen verilerin ilgili vakadan çok sonra yayınlanması ile kısıtlı değildir.” ve “Veriler bir an önce paylaşılır ve ardından bağlı veri formları da dahil olmak üzere açık standart formatına uyduğundan emin olunur.” ifadeleri yer almaktadır. Ayrıca verilen güncel olması ile ilgili ifadeler G8 Open Data Charter dokümanında da yer almaktadır.

### 4. Fiziksel Ve Elektronik Ortamda Kolayca Erişilebilirlik

Kamu kurumları tarafından paylaşılan veri setlerine fiziksel ve elektronik ortamlardan erişim sağlanabilmelidir. Fiziksel erişimin sağlanması için kamu kurumlarında veri erişim talebini alacak ofisler ve veri paylaşım sürecini başlatacak talep formlarının oluşturulması gerekir. Verinin elektronik ortamdan erişimi de dokümanları tek seferde indirebilir ya da oluşturulacak uygulama programlama ara yüzü (API) ile anlık olarak sağlanabilir.

### 5.Makinece Okunabilirlik

Bilgisayarlar belli formattaki girdileri daha iyi yorumlayabilirler. Örnek olarak; el yazısıyla yazılmış karakterlerin yer aldığı bir dokümanın makinece işlenmesi oldukça zordur. Optik karakter tanıma (OCR) uygulamalarıyla taranan dokümanlarda birçok karakter hatasına rastlanmaktadır. Aynı şekilde PDF formatındaki dokümanların da makinece işlenmesi oldukça zordur. Tauberer (2014)’e göre veriyi paylaşan kurum okuyucunun içeriğe en rahat şekilde ulaşması (örn. PDF, Açık doküman formatı (ODF)), araştırmacının da içeriği analiz etmesi (örn. txt, csv) için çoklu formatta veri paylaşımı yapmalıdır [8]. ACM’nin açık devlet konulu raporunda bu esasa yönelik görüşünü “kamu kurumları tarafından paylaşılan veri setleri verilerin analiz edilmesine ve yeniden kullanımına uygun format ve yaklaşımlarla paylaşılmalıdır.” şeklinde ifade etmiştir [9].

### 6.Fark gözetmeme

Herhangi bir kişi herhangi bir veriye kendini sisteme tanıtmadan veya doğrulama gerçekleştirmeden erişebilmesidir. Open Knowledge Foundation’ın opendefinition.org’taki “Açık Bilgi Tanımı” başlığında belirtilen “veriye erişilebilirlik”, Sunlight Foundation’ın “Açık Veri Politika Esasları” belgesinde “kamu verisinin çevrimiçi ortamda uygun şekilde paylaşımı” ve G8 Open Data Charter dokümanında “herkesin tarafından erişilebilirlik” kısımlarında verinin ücretsiz bir şekilde her kesime sunulması yer alır.

### 7.Ortak veya Açık Standartların Kullanımı

Bazı veri setlerinin paylaşılmasında tercih edilen bazı formatlar sadece ücretli yazılımlar tarafından açılmaktadır. Bu veri setlerinin paylaşımında açık kaynaklı ücretsiz yazılımların tercih edilmesi potansiyel kullanıcı sayısını da artıracaktır [7].

### 8.Lisanslama

Hizmet Kullanım Şartları gibi kısıtlamalar verinin herkes tarafından kullanımına engel olan uygulamalardır [7]. Lisanslamanın sınırlamaları ortadan kaldıracak şekilde hazırlanması önem arz etmektedir.

### 9.Kalıcılık

Kamu kurumlarının internet ortamında paylaştığı veriler arşivde tutulmalı ve kalıcı olmalıdır [7].

### 10.Kullanım Maliyeti

Tauberer’e göre veri internet üzerinde ücretsiz bir şekilde sunulmadığı sürece açık sayılmaz [8]. 2013 yılında güncellenen Avrupa Birliği Kamu Sektörü Bilgisi Direktifi (EU PSI Directive 2013/37/EU) doğrultusunda AB devletlerinin kuruluşları verilerin yeniden düzenlenmesi, toplanması, yayınlanması sürecinde oluşan marjinal maliyetten fazlasını talep edemeyeceği yer alarak 2003 yılında yayınlanan direktif (EU PSI Directive 2003/98/EC) ile bu kuruluşlara verilen “uygun bir kâr sağlayabilme” imtiyazı geri alınmıştır. İlgili direktifte her ne kadar ücret ifadesi geçse de Tauberer’e göre hali hazırdaki birçok kamu verisi söz konusu ve bu verilerin çevrimiçi olarak paylaşımının marjinal maliyeti neredeyse hiç yoktur [8].

### 2.1.2. Gelişim ve İhtiyaç Sebebi

Yu ve Robinson açık devlet verisine dair amaç ve gereklilikleri iki ana başlık altında toplamıştır. Bunlardan ilki demokratik değerlere hitap etmesidir [10]. Buna göre kamu verilerinin herkesin erişimine açılması aynı zamanda açık devlet süreçlerinin tanımlanmasına veya devlet yönetiminde şeffaflığa ve hesap verilebilirliğin artırılmasına aracı olmalıdır. İkinci başlık ise ekonomik sebeplerdir. Bu anlayışa göre kamu sahipliğinde üretilmiş veriler özel sektör için bir avantaj sağlayabilir. Kamudaki bu kaynağın ücretsiz bir şekilde sunulması inovasyonu ve girişimciliği teşvik edecektir [11]. Özel sektörde oluşan bu yenilik kamuya ekonomik büyüme ve istihdam olarak geri dönecektir [12].

Safarov, Meijer ve Grimmelihuijsen ise açık devlet verisinin bir ya da daha fazla etkisinin yer aldığı 82 çalışmayı incelemiştir. Bu çalışmalar sosyal ve ekonomik değerler ile iyi yönetişimin ekseninde ayrılmıştır ve ilgili çalışmalar üzerine yapılan tematik analiz sonucu altı önce çıkan etki başlığı belirlenmiştir [13]. Bunlar: şeffaflık ve hesap verebilirlik, ekonomik gelişim, vatandaşın katılımı, kamu hizmetlerinin gelişimi, sosyal değer ve vatandaşın güvenidir. İlgili çalışmadaki en önemli noktalardan biri analizin açık devlet verisinin etkisinin çıkarımsal ve gerçekleşenler ayrımı dâhilinde yapılmasıdır.

### 2.1.3. Riskler ve Potansiyel Engeller

Cowan, Alencar, McGarry bazı açık devlet uygulamalarını inceleyerek bu uygulamalar sırasında ortaya çıkan sorunları bir arada toplamıştır ve “kamu tarafından paylaşılan verilerin açık veri standartlarına uyması, açık devlet verisine erişim, açık devlet verisinin doğru araçlarla sunulması, açık devlet verisinin sürekliliği, kişisel gizliliğin ve verilerin paylaşımında fikri mülkiyetin göz önünde bulundurulması, verinin manipüle edilmeye uygun olması, verinin saklanması, servisi ve bakımının maliyeti ve veri kaynakları” süreçleri sırasında yaşanan sorunlar şeklindedir [14]. Martin, Foulonneau, Turki, Ihdjadene ise bir açık veri girişiminde yaşanabilecek riskleri 7 kategoride toplamıştır: yönetişim, ekonomik sorunlar, lisanslar ve yasal mevzular, verinin karakteri, meta veri, erişim ve yetenek [15]. Kucera, Chlapek ise kamu verisinin açılması sürecinde potansiyel riskleri ve bu risklere karşı çözüm önerilerini ilgili riskin seviyesine göre Tablo 1 ve Tablo 2’deki gibi listelemiştir [16].

Tablo 1. Riskler ve Risk Seviyeleri

Risk No	Risk	Önem Seviyesi
1	Mevzuata uygun olmayan verinin paylaşılması	Yüksek
2	Ticari ilişkilerin gizliliğini ihlal edebilecek veriler	Yüksek
3	Özel hayatın ihlali	Yüksek
4	Ülkenin kritik sistemleri hakkında veri	Yüksek
5	Paylaşılmasında mevzuat kapsamında bir sıkıntı olmamasına karşın paylaşılması halinde kamu işleyişini negatif yönde etkileyebilecek veri	Orta
6	Doğru olmayan değerlere sahip veri	Orta
7	Yanlış yorumlanmaya sebep verebilecek veri	Orta
8	Paylaşılması halinde herhangi bir değer üretmeyecek veriler veya herhangi bir kesimin ilgi alanına girmeyecek veri	Orta
9	Benzer başlık altında farklı değerlere sahip veri paylaşılması	Düşük
10	Paylaşılacak veri setinin artışıyla birlikte veriyle ilgilenen kesim tarafından yapılacak geri bildirim sayısının da artacak olması	Düşük

Tablo 1. Çözüm Önerileri

Çözüm No	Çözüm	İlgili Risk No
1	Veri setlerinin paylaşımı konusunda kamu kurumları talepler doğrultusunda değerlendirmeler yapmalıdır. (Hangi alanda veri setlerinin ilgi gördüğü, veri setlerinin aldığı oy sonuçları, vb.)	R8, R9, R10
2	Hangi kamu kurumunun hangi veri setini yayınlayacağı, ilgili veri setinin başka bir kurum tarafından da yayınlanmadığı net bir şekilde belirlenmelidir.	R10
3	Paylaşılacak veri setinin herhangi bir mevzuata aykırı olmadığından emin olunmalıdır.	R1, R2, R3, R4
4	Gizlilikten ötürü paylaşılmasında sorun olabilecek veri setleri anonimleştirilerek paylaşılabilir. Ancak anonimleştirilerek paylaşılacak veri seti için tersine işlem ile anonimleştirmenin bozulması riski göz önünde bulundurulmalıdır.	R2, R3, R4
5	Paylaşılacak verinin doğru veya eksiksiz olduğuna dair kalite kontrolü yapılmalıdır.	R1, R2, R3, R4, R5, R6
6	Sadece kamu kurumları erişiminde olacağı ve ilgili veri setlerine ait meta verilerinin yer aldığı bir veri kataloğu oluşturulmalıdır. İlgili veri kataloğunda veri setlerinin tabii olduğu mevzuat ve gizlilik seviyeleri yer alabilir.	R1, R2, R3, R4
7	Herkesin erişebileceği ve ilgili veri setlerine ait meta verilerinin yer aldığı bir veri kataloğu oluşturulmalıdır. Bu kapsamda; hem kullanıcının veri setlerine ulaşımı kolaylaşacak hem de veri setlerinin yanlış yorumlanmasının önüne geçilecektir.	R7, R8
8	Daha önce benzer konularda paylaşılmış veri setlerine erişim bağlantıları paylaşılmalıdır.	R8, R9, R10
9	Vatandaş veya özel sektörden toplanan verilerde eksiklik veya yanlışlık olabileceği gibi ifadeler belirtilmelidir.	R5, R6, R7
10	Sonraki dönemde ihtiyaç olabilecek güncellemeler için açık devlet verisi süreçleri takip edilmelidir.	R1, R11

### 2.1.4. Ekonomik Boyut

Kamu verisinin açılması hesap verilebilirliği artıracak, daha kaliteli ve yeni hizmetlere olanak sağlayacak, operasyon maliyetini düşürecek, kamu kurumlarında ve özel sektörde açık inovasyonu teşvik edecektir [17]. Aynı zamanda açık devlet verisinin özel sektör için yeni fırsatlar sağlaması beklenmektedir. Avrupa Komisyonu'na göre açık devlet verisinin ekonomik getirisi yıllık 40 milyar avroya ulaşacaktır. McKinsey'nin 2013 yılında açık verinin ekonomik etkisine yönelik yayınladığı raporda ise belirlediği yedi alan dâhilinde açık verinin ABD'de 1.1 trilyon dolar, Avrupa'da 900 milyar dolar, dünyanın geri kalanında ise 800 milyar dolar olmak üzere toplamda yıllık yaklaşık 3 trilyon dolarlık gelir yaratma potansiyeline sahip olduğu ifade edilmiştir [18]. Deloitte'in raporuna göre Birleşik Krallık'ta kardiyak arrestine yönelik verilerin açılmasının ardından ölüm oranlarının azaldığı görülmüş ve bu da ülke ekonomisine yıllık yaklaşık 400 milyon avroluk katkı sağlamıştır [19]. 2012 yılında Birleşik Krallık'ta girişimci firmalar ve kamuda çalışan doktorların açık olarak paylaşılan reçete verileri üzerinden yaptığı çalışma ile yaklaşık 200 milyon poundluk tasarrufun sağlanabileceği sonucuna ulaşmıştır. Açık devlet verisi ile gerçekleştirilen bu düşük bütçeli 8 haftalık çalışma büyük ölçekte bir tasarrufa ön ayak olmuştur [20].

Kamuda açık veri sürecinin kazandırdığı faydalar oldukça fazladır, ancak böyle bir yapının sürdürülebilirliğinin sağlanması beraberinde ekonomik yükümlülükler getirmektedir. Ekonomik boyut; uygulama maliyeti ve açık verinin ülke ekonomisine sağlayacağı katma değer şeklinde ele alınabilir.

Kamuda açık hale getirilmiş, paylaşılmaya hazır verilerin ulusal ya da yerel bir portal üzerinde paylaşılması sürecin en son aşamasıdır fakat böyle bir portal beraberinde donanım, yazılım ve insan kaynağını gerektirir. Bu üç parametre; planlanan uygulamanın büyüklüğüne göre farklı maliyetler oluşturmaktadır. Bazı ülkelere ait açık veri portallarının maliyet tablosu aşağıdaki gibidir [21].

Tablo 2. Açık Devlet Verisi Portal Maliyetleri

Platform	Ülke	Alan	Kapsam	Maliyet
data.gov	ABD	Tüm sektörler	Ulusal	10 milyon dolar/yıl
data.gov.uk	Birleşik Krallık	Tüm sektörler	Ulusal	2010-2011: 1.2 milyon pound 2011-2012: 2 milyon pound
Etalab	Fransa	Tüm sektörler	Ulusal	5 milyon Avro/yıl
Nantes Métropole	Fransa	Tüm sektörler	Belediye	100 bin avro (sadece portal geliştirme maliyeti)
PortalU	Almanya	Çevre	Ulusal	750 bin avro/yıl

17 Eylül 2014 tarihinde Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) ile Dünya Bankası, Açık Veri ve Açık Bilgi Kuruluşlarının (The World Bank, The Open Data Institute, Open Knowledge) bir araya gelmesiyle kurulan Açık Veri Ortaklığının (Partnership for Open Data) öncülüğünde 15 ülkeden yetkili kişileri bir araya toplanmıştır. İlgili yetkili kişiler ülkelerindeki açık veri süreçleriyle ilgili iyi örnekleri de paylaşmıştır. Açık veri politikasının uygulanması sürecine ne kadar bir kaynak ayrılmasına yönelik çalışmayı yerine getiren grup maliyetleri Tablo 4'te görüleceği üzere belli başlıklar altında toplamıştır:

Tablo 3. Maliyet Türleri

Maliyet Türü	Alt Başlıklar
1.Kurulum ve Teknik Süreçlerin Maliyeti	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Açık veri portalı geliştirme maliyetleri</li> <li>▪ Bulut ve diğer sunucu hizmetlerinin maliyeti</li> <li>▪ Web servis maliyeti</li> <li>▪ Donanım ve diğer araçların maliyeti</li> </ul>
2.Planlama ve Yönetim Maliyeti	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Politika ve regülasyonların hazırlanması ve onaylanması süreci</li> <li>▪ Politika ve regülasyonun yürürlüğe sokulması ve güncelliğinin sağlanması</li> <li>▪ Açık veri politikasının yürürlüğe sokulmasının getireceği kanuni masraflar</li> <li>▪ Açık veri ekosistemindeki paydaşlardan gelecek şikâyet ve önerilerin yönetilmesi</li> <li>▪ Mevcut veri sistemlerinin güncellenmesi veya basılı ortamdaki kayıtların elektronik ortama taşınması</li> <li>▪ Veri toplama yönteminin getireceği maliyet</li> <li>▪ Kamu kurumları nezdinde bu işin koordinasyonunu yapacak ekibin kurulması</li> </ul>
3.Beceri Gelişimi ve Halkla İlişkiler	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Geliştiricilerin eğitimi</li> <li>▪ Açık veri kullanımının yaygınlaşmasına yönelik etkinlikler</li> <li>▪ Kamu çalışanlarının veriyi kullanmalarına yönelik eğitim</li> <li>▪ Halkla ilişkileri biriminin koordinasyon maliyeti</li> </ul>
4.Sürdürülebilirlik Maliyeti	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Geliştirilecek sistemin bakım maliyeti</li> <li>▪ Veri envanterinin oluşturulması ve yayınlanması</li> <li>▪ Portalın güncellenmesi ve yönetilmesi</li> <li>▪ Yayınlanmaması gereken bir verinin paylaşılması durumunda ortaya çıkabilecek maliyet</li> <li>▪ Etki analizi maliyeti</li> <li>▪ Mevcut ekibin özlük hakları ve eğitim maliyetleri</li> <li>▪ Portal yazılım bakım maliyeti</li> <li>▪ Portal yazılım fonksiyonlarının artırılması durumunda ortaya çıkabilecek maliyetler</li> </ul>

### 2.1.5. Standartlar

Verilerin paylaşılmasında tercih edilen teknolojik altyapı açık veya kapalı olabilmektedir. Bu kapsamda açık format; kullanılan teknolojinin açık kaynak bir yazılım olması, ücretsiz olması, bir kişinin bu teknolojiyi kendi yazılımında tercih etmesinin önünde herhangi bir mülkiyet kanununa tabii olmayacak olmasıdır. Dosya formatının kapalı olması, ilgili teknolojinin fikri mülkiyet haklarının olması ve herkesin erişimine açık olmaması veya belirli yazılımların kısıtlı bir şekilde bu formatları açabilmesidir [22].

Açık veri dosya formatlarının ardından bu veri setlerinin kullanıcıya nasıl sunulacağı da belirlenmelidir. Boyut, karmaşıklık ve sürelilik gibi etkenler verilerin indirilebilir dosya yöntemiyle paylaşılmasını mümkün kılmaz. Bazı veri setleri daha küçük modüllere ayrılması gerekirken, bazıları ise güncelliğin sağlanması için canlı akış yöntemiyle sağlanmalıdır. Tablo yapısındaki veriler indirilebilir formatta paylaşılacak için uygunken kısa periyodlarla güncellenen ve tek bir seferde indirilmesinin fazladan maliyete (veri seti boyutu, vb.) sebep yaratabileceği veriler uygulama programlama ara yüzleri (API) tanım bütünüyle sağlanabilir [23]. Veri paylaşacak yetkili kurum, maliyet ve devamlılık faktörlerini dikkate alarak doğru formatı seçmelidir [22].

### 2.1.6. Açık Lisans

Açık verinin yaygınlığının önündeki bariyerlerden biri de lisans sorunudur [24]. Birçok araştırmacıya göre iyi tasarlanmış bir lisans sistemi açık veri girişimini sürdürülebilir ve başarılı kılmak için gereklidir [25]. Open Data Institute'ye göre ise açık verinin kendisinin açık olduğunu belirten bir lisansa sahip olması gerekmektedir, aksi takdirde veri tekrar kullanılamamaktadır [26]. Kamu sektörü verisinin kaynağının toplum olmasında dolayı vatandaş, topluluklar ve şirketlerin açılan veriye yönelik hak ve sorumluluklarının net bir şekilde belirtildiği yasal bir dayanak oluşturmak oldukça önemlidir. Yasal hak ve sorumlulukların net bir şekilde belirtilmemesi açık verinin sağlayacağı ekonomik, sosyal ve devlet yönetimine yönelik katkıların sağlanmasında bir engel olarak yansımaktadır [27].

Açık lisansa yönelik çalışmalardan bahsedilmeden önce lisans tanımının iyi bir şekilde yapılması önem taşımaktadır. Birleşik Krallık Çerçeve Lisansı'na göre lisans; mevzu bahis bilginin kullanımına müsaade eden yasal belgedir. Aynı zamanda lisans; kişi ve kuruluşlara fikir ve veri haklarıyla korunan belge veya diğer materyalleri tekrar kullanma izni veren yapıdır. İlgili lisansın içeriğinde, kullanıcılara yapabilecekleri işlemler ve kısıtlı koşullar açık bir şekilde belirtilmelidir [28].

Avrupa Komisyonu, Kamu Sektörü Bilgisi (PSI) direktifine uygun olarak yayınladığı rehberde açık lisansın birlik içerisinde ortak bir uygulama olması gerektiğini vurgulanmıştır. Ayrıca bu rehber, ortak kriterler (CC) lisansı gibi açık standart lisanslarının kamu sektörü bilgisinin tekrar kullanımı için yeterli olduğunu, ülke veya birlik özelinde yeni bir standart oluşturulmasının gerekmediği ifade etmektedir [24].

**PSI Lisansı:**

2003 PSI Direktifi altında PSI lisansı yer almaktadır. Bu lisansa göre kamu sektörü bilgisi ticari ve ticari olmayan amaçlar için kullanılabilir. Ancak ilgili lisansta bazı veri ve bilgiler için belirli ürün ve hizmetlerin ön plana çıkarılmasına yönelik kullanılmayacağına dair kısıtlamalar söz konusudur [29]. Bu kapsamda PSI lisansı açık lisans olarak kabul edilmemektedir.

**Ortak Kriterler – CC0:**

CC0 herhangi bir yasal doküman olmayıp, ilgili kuruluşa ait dokümanın haklarından feragat ettiğine dair bir bilgilendirir.

**Open Data Commons Public Domain Dedication and Licence (PDDL):**

PDDL de CC0'a benzer olarak yasal bir doküman olmayıp fikir ve veri haklarından feragat edildiğine dair bir bilgilendirir. Birleşik Krallık [30] ve Kanada [31] gibi ülkeler ise kendi açık veri lisanslarını uyarlamıştır. Bu lisanslar hem Ortak Kriterler lisansına hem de Açık Veri lisansına uyumludur. Birçok Avrupa Birliği ülkesi de açık veri lisansı olarak Ortak Kriterler lisansını tercih etmiştir.

**2.1.7. Ölçümleme**

2006 yılında Tim Berners-Lee, açık verinin farklı karakteristik özelliklerini ve verinin sunulduğu kitleye hangi faydaları sağlayacağını tanımlamak için 5 yıldız modelini sunmuştur. Bu model verinin tekrar kullanımı sürecinden önce verinin hazırlık seviyesini ölçme konusunda dünyaca kabul görmüş bir modeldir [31]. Birinci yıldızın temel ihtiyaçları göstermesi, beşinci yıldızın ise tüm ihtiyaçları sağlamasıyla 5 yıldız modeli özünde Moslow piramidini temel alır [32]. 5 yıldız modelinde verinin internet ortamında olması, makinece okunabilir olması, açık formatta olması, Kaynak Tanımlama Çerçevesi (RDF) standardına sahip olması ve bağlanabilir olması birer yıldız karşılık gelir [33]. Berners-Lee'ye göre bir yıldızlı kategoride; veri gözle görülebilir şekilde, taşınabilir doküman formatında internet ortamında yer alır[33]. Korn ve Oppenheim'e göre taşınabilir doküman formatında en çok tercih edilen format PDF'dir. PDF formatında paylaşılan bir dokümana birçok bilgisayardan erişilebilir ancak 1 yıldız kategorisindeki veriler kapalı doküman formatında olmalarından dolayı kullanıcı veriler üzerinde müdahalede bulunamaz [32] ve bu verileri tekrar kullanamaz. Veri internet ortamında olmasının yanında makinece okunabilir formatta (örn. XLS formatında) ise ilgili veri seti 2 yıldızlı kategoride yer alır. Kullanıcı veri setine virgülle ayrılmış değer formatında (CSV) erişilebiliyorsa 3 yıldızlı kategoride yer alır. CSV formatı veri işleme ve transfer uygulamaları için oldukça kolaylık sağlayan bir yapıya sahiptir. Ancak çok fazla satır ve sütundan oluşan veri setlerinde karmaşıklığa müsait bir yapıya sahip olmasından dolayı her bir sütun özelinde dokümantasyon yapılması oldukça önemlidir [35]. Veri seti bir evrensel kaynak tanımlayıcısı (URI) yoluyla internet ortamında içeriği paylaşılmışsa 4 yıldız, URI yoluyla başka bir veri setine bağlanmaya uygun formatta paylaşılmışsa 5 yıldız kategorisinde yer alır. Ölçümlemeye yönelik yaklaşımlar Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. Ölçümleme Modelleri

Model Adı	Ölçülecek etken
4 aşama modeli (David Osimo)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Verinin mevcut olması</li> </ul>
5 yıldız modeli (Sir Berners Lee )	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Verinin mevcut olması</li> </ul>
(European Commission Model, 2011)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Mevcuttaki açık veri sayısı</li> <li>○ Güncellik</li> <li>○ Veri formatı</li> <li>○ Verinin yeniden kullanılabilirliği</li> <li>○ Ücret</li> <li>○ Erişilebilirlik</li> <li>○ İndirilebilirlik</li> <li>○ Uygulamalar tarafından anlık erişilebilirlik</li> <li>○ Açık veri kullanarak geliştirilen uygulama sayısı</li> </ul>
Açık veri karşılaştırması (Socrata, 2011)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Verinin mevcut olması</li> <li>○ Erişilebilirlik</li> </ul>
Puanlama modeli (Open Knowledge Foundation)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Verinin mevcut olması</li> <li>○ Verinin dijital formatı</li> <li>○ Herkesin erişebilmesi</li> <li>○ Ücretsiz olması</li> <li>○ İnternette erişilebilir olması</li> <li>○ Açık lisansa sahip olması</li> <li>○ Makinece okunabilir olması</li> <li>○ İndirilebilir olması</li> <li>○ Güncel olması</li> </ul>
Maurino, Spahiu, Batini, Viscusi [36]	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Bütünlük</li> <li>○ Doğruluk</li> <li>○ Güncellik</li> </ul>
Canova, Torchiano Minotas, Iemma, Morando [37]	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Takip Edilebilirlik</li> <li>○ Güncellik</li> <li>○ Gecikme</li> <li>○ Bütünlük</li> </ul>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Uygunluk</li> <li>○ Anlaşılabilirlik</li> <li>○ Doğruluk</li> </ul>
Ubaldi [3]	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Veri kalitesi mevcut durum (portal üzerindeki veri seti ve meta veri sayısı)</li> <li>○ Talep (günlük görüntülenme sayısı, vb.)</li> <li>○ Tekrar kullanımı sayısı (veri seti kullanılarak geliştirilen uygulama sayısı, vb.)</li> </ul>

### 2.1.8. Araçlar

Tüm kurumun açık verisinin paylaşılması için açık veri portalları ve katalogları bir standart haline gelmeye başlamıştır. Veri setlerinin yüklendiği ve güncellendiği bu portallarda her kesimden son kullanıcı verileri arayabilir ve indirebilecektir. Böyle bir portala yönelik ihtiyaç; kurum içi yazılım geliştirilerek, mevcut bir platform satın alınarak, mevcut bir açık kaynak platform kullanılarak giderilebilir [20].

Open Government Platform (opengovplatform.org), ABD merkezi devlet portalı data.gov'un teknik fonksiyonlarını sunan bir açık kaynak ürünüdür. Açık kaynak olarak sunulan yazılım herhangi bir devlet ya da belediye tarafından kullanılabilir durumdadır [38].

CKAN (ckan.org), güçlü bir veri yönetim sistemi olup yayınlama, paylaşma, arama araçları ile verinin erişilebilir kılmaktadır. Başta Birleşik Krallık olmak üzere birçok devlet ve yerel organizasyonlar tarafından kullanılmaktadır. CKAN açık kaynak bir yazılım olup herhangi bir kısıtlama olmadan indirilebilir ve kullanılabilir durumdadır. DKAN ise CKAN ile aynı özelliklere sahip olan Drupal altyapısını kullanan bir yazılımdır [38]. Porto Riko Açık Veri Portalı ve Almanya'daki Cologne şehrine ait portal DKAN kullanılarak geliştirilmiştir.

Microsoft OGDİ (ogdi.codeplex.com), açık kaynak bir platform olup kurumların kamu verisini paylaşma sürecini etkili ve hızlı bir hale getirmektedir [38].

Socrata, veri paylaşımı, yönetimi, analizi ve tekrar kullanımına olanak sağlayan ticari bir platform olup Chicago, New York ve Bristol şehirleri ile Kenya devletinin açık devlet verisi portalı altyapısını sağlamaktadır [39].

Junar, bulut tabanlı ticari bir açık veri platformu olup veri toplama, zenginleştirme, analizi gerçekleştirme özelliklerine sahiptir. Pasadena, Anaheim ve Santa Clarita şehirlerinin devlet verisi portalı altyapısını sağlamaktadır.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Kamu Verisini Açarken

Çalışma kapsamında diğer ülkelerin açık devlet verisi uygulamaları ve politika dokümanları ile uluslararası sivil toplum kuruluşlarının çalışmaları incelenmiş ve edinilen bulgular sonucunda bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan bu modelin, hem ulusal düzeyde hem de herhangi bir kamu kurum özelinde mevcut veri ve bilgilerin paylaşılması sürecinde bir rehber olması hedeflenmiştir. İlgili model kapsamındaki bileşenler bu başlık altında paylaşılacaktır.

Kamu tarafında başarılı bir açık devlet verisi sürecinin başlatılabilirliği ve sürdürülebilirliğin sağlanması için iyi bir teknik, yasal ve organizasyonel altyapının oluşturulması oldukça önemlidir [39]. Açık devlet verisine erişimin sağlanabilmesi için birçok devlet açık veri portallarını hizmete sunmuştur. Oluşturulacak ekosistemin merkezinde yer alacak bir portalın başarılı olabilmesi için açık veri stratejisinin başarılı bir şekilde yansıtıldığı bir çerçeve oluşturulması kritiktir.

Önerilen bu modele göre, açık devlet verisi politikasını uygulamaya sokacak bir kamu kurumu için tüm süreç; girişim öncesi dönem, girişimin tasarlanması, girişimin hayata geçirilmesi, girişimin devamlılığı ve uluslararası platformlara katılım olmak üzere 5 kısımdan oluşmaktadır.

Şekil 1. Model Önerisi



### 3.1.1. Uygulama Öncesi Dönem

Kamu kurumlarında açık devlet verisi uygulamasının gerçekleştirilmesi sürecine yönelik bir aksiyon gerçekleştirilmeden önce mevcut durumun ölçülmesi ve uygunluk seviyesinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu kapsamda; kamu kurumlarında yer alan veri ve bilgiler meta veri düzeyinde toplanarak veri kataloğu oluşturulmalıdır. Veri katalogları sadece kamu kurumları erişiminde olacağı ve herkesin erişebileceği şeklinde iki farklı türde hazırlanmalıdır. Sadece kamu kurumlarının erişebileceği kataloglar; ilgili veri setlerine ait meta verileri ve veri setlerinin tabii olduğu mevzuat ve gizlilik seviyeleri yer almalıyken, herkesin erişebileceği kataloglarda; ilgili veri setlerine ait meta veriler ve açıklamalar yer almalıdır. Bu sayede; hem kullanıcının veri setlerine ulaşımı kolaylaşacak hem de veri setlerinin yanlış yorumlanmasının önüne geçilecektir.

Farkındalık kapsamında kamu kurumlarının sahip olduğu veri ve bilgilerin tespiti sürecinde kamu kurumları açık devlet verisine yönelik olarak bilgilendirilmesi ilgili kurumların bu süreci sahiplenmesi ve açık devletli uygulamalarını kurum düzeyinde uygulayabilmeleri açısından oldukça önemlidir. Ayrıca daha önce ulusal eylem planında da yer aldığı üzere [40], kurumlarda fizibilite çalışmaları yapılarak hangi verilerin açık veriye dönüştürüleceği belirlenmelidir.

İkinci aşamada mevzuat düzenlemesi kısmında ele alınmadan önce veri paylaşımına ilişkin yasal ve idari engellerin tespiti konusunda bir çalışma yapılmalıdır.

### 3.1.2. Uygulamanın Tasarlanması

Veri paylaşımına ilişkin yasal ve idari engellerin tespiti konusunda gerçekleştirilen çalışma sonucunda bu engellerin giderilmesi için gerekli düzenlemeler hayata geçirilmelidir. Ayrıca açık devlet verisine yönelik uluslararası kriterlere uygun olmak üzere belirlenen ilişkin ilke, usul ve esaslarına göre açık veri paylaşım mevzuatı tanımlanmalıdır. Oluşturulacak mevzuatta telif hakları ve açık lisans konuları, verinin ücretli olması takdirde; verinin toplanıp, saklanıp, paylaşılması sonucu ortaya çıkacak ortalama maliyeti geçmeyecek ücret politikaları, daha önce ulusal eylem planında da yer aldığı üzere [40] kurum verilerinin açık veriye dönüştürülmesi ile ilgili kriterler ve dikkat edilecek hususlar yer almalıdır. Oluşturulacak açık lisans ile verilerin kullanım standartları net bir şekilde ifade edilmelidir.

Açık devlet verisine yönelik uygulama sürecinin tasarlanması ve yasal altyapısının sağlanması adına aksiyonlar atıldıktan sonra ulusal açık veri portalının gerçekleştirilmesine yönelik teknik altyapı çalışmalarına başlanmalıdır.

### 3.1.3. Uygulamanın Hayata Geçirilmesi

Kamu kurumlarının sahip olduğu veri ve bilgileri oluşturulacak portalda uygun formatlarda veya servisler aracılığıyla paylaşması için daha öncesinde hazırlanmış birincil mevzuatlar, ikincil mevzuatlar aracılığıyla desteklenmelidir.

Yayınlanacak ikincil mevzuatları destekleyecek şekilde bir rehber doküman (toolkit) hazırlanmalıdır. Bu doküman; verinin en baştan açık veri standardına uygun bir şekilde toplanması, saklanması ve paylaşılması, hassas içerikli verinin tespiti, gizlilikten ötürü paylaşılmasında sorun olabilecek veri setleri anonimleştirilmesi, anonimleştirilerek paylaşılacak veri seti için tersine işlem ile anonimleştirmenin bozulması riskinin tespiti, portal özelliklerinin kullanım senaryoları unsurlarını içermelidir. Hazırlanacak rehber doküman yanında kamu kurumlarına eğitimler verilmelidir.

Paylaşılacak kamu verisini kullanacak hedef kitle başta olmak üzere tüm vatandaşlar için paylaşılan verilerden anlamlı bilgi elde edilmesi konusunda eğitim dokümanları hazırlanmalı, yerinde ve uzaktan eğitim ortamları hazırlanmalı ve açık devlet verisiyle geliştirilmiş örnek uygulamalar geliştirilmelidir.

### 3.1.4. Uygulamanın Devamlılığı

Açık devlet verisine yönelik uygulama sürecinin devamlılığının sağlanması için belirli periyodlarla açık veri kullanımından dolayı sağlanan katma değer belirlenmesine yönelik etki değerlendirmesi yapılmalı ve sonrasında alınacak tedbir ve gerçekleştirilecek aksiyonlar bu değerlendirmeler neticesinde uygulanmalıdır.

Ulusal açık veri portalında paylaşılacak veri setlerinin belirlenmesinde veriyi kullanacak paydaşların ihtiyaçları belirlenerek, talep odaklı çalışmaların yürütülmesi sürecin devamlılığı için oldukça önemlidir. Ayrıca açık devlet verisine yönelik uygulama sürecine paydaşların katılımın sağlanmasına yönelik ortamlar oluşturulmalıdır. Örnek olarak; kamu ihtiyaç duyduğu sadece açık devlet verisiyle geliştirilebilir bir uygulamayı kamu iş gücüyle oluşturmak yerine ilana çıkarak ödüllü bir yarışma yoluyla temin edebilir. Bu sayede, kamunun çözüm bulma daveti, mevcut veya yeni fikirlerin bir çözüme veya yeni bir ürüne dönüşmesine sebep olabilecektir. Kamu hem katılımı sağlarken hem de kaynaklarını tasarruf etmiş olacaktır. Bu kapsamda; ulusal açık veri portalında kamu ihtiyaçlarına kullanıcılar tarafından dijital çözümler gerçekleştirilmesine yönelik ödüllü yarışma ilanlarına yer verilmelidir. Açık devlet verisi kullanılarak geliştirilen resmi dijital uygulamalar ise açık kaynak kodlu bir şekilde ulusal açık veri portalında paylaşılmalıdır.

## 4. Sonuç

Dünya genelinde birçok ülkelere ait politika dokümanlarının ve bu ülkelere yönelik gerçekleştirilen akademik çalışmaların incelenmesi neticesinde açık devlet, açık devlet verisi, açık bilgi gibi kavramların ön planda olan kavramlar olduğu görülmüştür. Bu kavramlar e-devlet, tek durak kamu portalı, bilgi toplumu gibi diğer önemli kavramlar ile çoğunlukla ele alınmıştır. Dünya ekonomisinin veri odaklı olmasının da etkisiyle son yıllarda birçok ülke ellerindeki veriden en üst seviyede yararlanabilmek için bu verileri bilgisayarca okunabilir formatta belirli bir kullanım koşuluyla paylaşarak açık devlet verisi süreçlerini uygulamaya sokmuştur.

Kamunun mevcut verileri ücretsiz bir şekilde sunması inovasyonu ve girişimciliği teşvik edecek, özel sektörde oluşan bu yenilik kamuya ekonomik büyüme ve istihdam olarak geri dönecektir. Kamuda birçok alandaki mevcut problemlere ilişkin çözümler, açık verilerin dijital yöntemler kullanılmasıyla sağlanabilecektir. Doğru analizlerin yapılabilmesi içinse yeterli büyüklükte ve çeşitlilikte veri olması gerekmektedir.

Büyük verinin saklanmasına ve analizine yönelik olarak geliştirilen araçlar (Hadoop, Hive, Pig ve NoSQL veritabanları gibi büyük veri teknolojileri) ile yüksek miktardaki veriler üzerinde anlık çözümler yapılabilmektedir. Kamu verisinin açılmasıyla bu teknolojilerle çok hızlı ve katma değeri yüksek verimli projeler üretilebilecektir.

Kamu kurumlarının paylaştığı veriler ile özel sektörden, çeşitli araştırmalar sonucu ortaya çıkan verilerle bağlanması hem ekonomik hem de sosyal birçok fırsat sunacaktır. Bu çalışmanın en büyük amacı bu fırsatların değerlendirilmesi için hangi aksiyonların gerçekleştirilmesi gerektiğini ortaya koymaktır. Bu çalışma ile birçok kaynakta farklı tanımlarla ifade edilen açık devlet verisine yönelik kapsayıcı bir tanım ortaya koymak, açık devlet verisini yapısal özellik, gelişim ve ihtiyaç sebebi, riskler ve potansiyel engeller, ekonomik boyut, standartlar, açık lisans, ölçümleme, araçlar başlıklarını içeren bir çerçeve üzerinde ele almak ve kamu verisini açmaya yönelik bir model ortaya koymak hedeflenmiştir.

## **Kaynakça**

- [1] Parycek P, Höchtel J, Ginner M. "Open Government Data Implementation Evaluation". Journal Of Theoretical And Applied Electronic Commerce Research, 9(2), 80-99, 2014.
- [2] Jetzek, Avital, Andersen. "Generating Value from Open Government Data". 34th International Conference on Information Systems, Milan, 9(2), 1-20, 2013.
- [3] Ubaldi B. "Open Government Data: Towards Empirical Analysis of Open Government Data Initiatives". OECD, 2013.
- [4] Deloitte. "Open Data Driving Growth, Ingenuity And Innovation". Deloitte, 2012.
- [5] OECD, "Open Government: The Global Context And The Way Forward 2016". OECD, 2016.
- [6] Public.Resource.Org. "8 Principles". [https://Public.Resource.Org/8\\_Principles.Html](https://Public.Resource.Org/8_Principles.Html) (01.08.2018)
- [7] Sunlight Foundation. "Ten Open Data Principles", <https://sunlightfoundation.com/policy/documents/ten-open-data-principles> (01.08.2018)
- [8] Tauberer J. Open Government Data 2nd ed. USA, 2012.
- [9] ACM. "Association Of Computing Machinery Recommendation On Open Government". ACM, 2009.
- [10] Yu H, Robinson D. G. "The New Ambiguity Of "Open Government"". 59 UCLA L. Rev. Disc. 178, 2012.
- [11] Vanroekel S., Park T. "Continued Progress And Plans For Open Government Data", <https://obamawhitehouse.archives.gov/blog/2014/05/09/continued-progress-and-plans-open-government-data> (01.08.2018).
- [12] Gurin J. "Open Governments, Open Data: A New Lever For Transparency, Citizen Engagement And Economic Growth". SAIS Review Of International Affairs, 34(1), 71-82, 2014.
- [13] Safarov I., Meijer A., Grimmelikhuijsen S. "Utilization Of Open Government Data: Asystematic Literature Review Of Types, Conditions, Effects And Users". Information Polity 22, 1-24, 2017.
- [14] Cowan D., Alencar P., McGarry F. "Perspectives On Open Data: Issues And Opportunities". IEEE Technical Report CS-2014-01, 2014.
- [15] Martin S., Foulonneau M., Turki S., Ihadjadene M. "Risk Analysis To Overcome Barriers To Open Data". Université Paris, Vincennes-Saint-Denis, 11(2), 324-388, 2013.
- [16] Kucera J., Chlapek D. "Benefits And Risks Of Open Government Data". JOURNAL OF SYSTEMS 34 INTEGRATION 2014/1, 30-41, 2014.
- [17] Zeleti T., Ojo A. "Capability Matrix for Open Data". Working Conference on Virtual Enterprises (PROVE), Amsterdam, Netherlands, Oct 2014.
- [18] McKinsey. "Open Data: Unlocking Innovation And Performance With Liquid Information". McKinsey Global Institute, 2013.
- [19] Deloitte. "Market Assessment Of Public Sector Information, UK Department For Business Innovation And Skills". Deloitte, 2013.
- [20] Scottish Government. "Open Data Resource Pack, Scottish Government". Scottish Government, 2016.
- [21] Martin S., Foulonneau M., Turki S., Ihadjadene M. "Risk Analysis To Overcome Barriers To Open Data". Electronic Journal of e-Government, 11(1), 348-359, 2013.
- [22] opendatahandbook.org. "Open Data Handbook". <http://opendatahandbook.org/guide/en> (01.01.2018)
- [23] EU. "European Data Portal", <https://www.europeandataportal.eu/elearning/en/module9/#/id/co-01> (01.01.2018)
- [24] Khayyata M., Bannister F. "Open Data Licensing: More Than Meets The Eye". Information Polity 20, 231-252, 2015.
- [25] Zuiderwijk A., Susha I., Charalabidis Y., Parycek P., Janssen M. "Open Data Disclosure and Use: Critical Factors From a Case Study". CeDEM15 Conference for E-Democracy and Open Government, Krems, 2015
- [26] Bertot J., Jaeger P., Grimes J. M. "Using Icts To Create A Culture Of Transparency: E-Government And Social Media As Openness And Anti-Corruption Tools For Societies". Government Information Quarterly, 27(3), 264-271, 2010.
- [27] Korn N., Oppenheim C. "Licensing Open Data: A Practical Guide (Version 2.0)", Hefce: JISC, Junio, 2011.
- [28] National Archives of UK. "UK Government Licensing Framework", <http://www.nationalarchives.gov.uk/documents/information-management/uk-government-licensing-framework.pdf> (01.01.2018)
- [29] "Government Reform Unit Department Of Public Expenditure And Reform, 2015.
- [30] National Archives of UK. "Open Government Licence", <http://www.nationalarchives.gov.uk/doc/open-government-licence/version/3/> (01.01.2018)
- [31] Government of Canada, "Open Canada". <http://open.canada.ca/en/opengovernment-licence-canada> (01.01.2018)

- [32]EPSI. “The Five Stars Of Open Data”, The EPSI Platform, Brussel, 2010.
- [33]Berners-Lee T. “5 Star Deployment Scheme For Open Data”, <https://www.w3.org/designissues/linkedata.html> (01.01.2018)
- [34]Korn N, Oppenheim C. “Licensing Open Data: A Practical Guide”. Joint Information Systems Committee (JISC), 2011.
- [35]Open Data Handbook. “What Is Open Data?”. <http://opendatahandbook.org/en/what-is-open-data/> (01.01.2018)
- [36]Maurino A., Spahiu B., Batini C., Viscusi G. “Compliance with Open Government Data Policies: an empirical evaluation of Italian local public administrations”. *Information Polity*, 19(3), 263-275, 2014.
- [37]Canova L., Torchiano M., Minotas C. O., Iemma R., Morando F. “Open data quality measurement framework: Definition and application to Open Government Data”. *Government Information Quarterly*, 33 (2), 325-337, 2016.
- [38]UN. “Guidelines On Open Government Data For Citizen Engagement, Department Of Economic And Social Affairs”. UN, 2013.
- [39]Bello O., Akinwande V., Jolayemi O., Ibrahim A. “Open Data Portals in Africa: An Analysis Of Open Government Data Initiatives”. *Afr. J. Lib. Arch. & Inf. Sc.*, 26(2), 2016.
- [40] 2016-2019 Ulusal e-Devlet Stratejisi ve Eylem Planı, <http://www.edevlet.gov.tr/wp-content/uploads/2016/07/2016-2019-Ulusal-e-Devlet-Stratejisi-ve-Eylem-Plani.pdf>, 2016



# Investigation of Flame Retardancy of Borax in Upholstery Leather Modified with Atmospheric Pressure Plasma

Safiye Meriç Açıkel<sup>1\*</sup>,

<sup>1</sup> İstanbul University-Cerrahpaşa, Vocational School of Technical Sciences, Leather Technology Programme, Büyükkçekmece, İstanbul (ORCID: 0000-0002-1206-7726)

(İlk Geliş Tarihi 1 Kasım 2019 ve Kabul Tarihi 4 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.641656)

**ATIF/REFERENCE:** Açıkel, S. M. (2019). Investigation of Flame Retardancy of Borax in Upholstery Leather Modified with Atmospheric Pressure Plasma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 844-851.

## Abstract

Borax is in the class of inorganic chemicals and is used as flame retardancy in different industries. It has high ignition temperature, does not cause toxic gases during combustion and does not emit emissions that will pollute the environment. In this study, retanning process of leathers was made according to upholstery leather recipe and then the leathers were modified with argon gas containing atmospheric pressure plasma to increase the fixation of borax chemicals by surface modification effect of plasma. Then, 0, 30 g/L, 40 g/L, 50 g/L of borax solutions were applied to the modified leathers by padding technique and the leathers were finished by standard finishing recipe. Flame retardant property of leathers was determined by limit oxygen index (LOI) (ASTM D 2863-77) fire resistance test and TGA analysis. In addition, the treated leathers were characterized by FTIR, SEM and Hydrophilicity analyses. According to the obtained results, 30 g/L, 40 g/L, 50 g/L borax applied leather groups had 29.2%, 30.5% and 31.2% LOI values respectively, while control sample had 19.0%.

**Keywords:** Plasma, Leather, Borax, Flame Reterdancy, Upholstery

## Atmosferik Basınç Plazma ile Modifiye Edilmiş Döşemelik Derilerde Boraks Kimyasalının Alev Geciktiricilik Özelliğinin Araştırılması

### Öz

Boraks inorganik kimyasallar sınıfındadır ve alev geciktirici olarak farklı sektörlerde kullanılmaktadır. Boraks; yüksek tutuşma sıcaklığına sahiptir, yanma sırasında toksik gazlara neden olmaz ve çevreyi kirletecek emisyonlar yaymaz. Bu çalışmada, ilk olarak wet blue derilerin retenaj işlentisi yapılmış ve ardından finisajı yapılmamış deriler ilk olarak, boraks kimyasallarının fiksasyonunu arttırmak için atmosferik basınç plazması içeren argon gazı ile modifiye edilmiştir. Daha sonra 0, 30 g/L, 40 g/L, 50 g/L boraks çözeltisi padding tekniği ile modifiye edilmiş derilere uygulanmış ve deriler standart bir finisaj reçetesi ile mamul hale getirilmiştir. Derilerin alev geciktirici özelliği limit oksijen endeksi (LOI) (ASTM D 2863-77) alev dayanımı testi ve TGA analizi ile belirlenmiştir. Ek olarak, modifiye edilmiş deriler FTIR, SEM ve Hidrofilite analizleri ile değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlarına göre, 30 g/L, 40 g/L, 50 g/L boraks uygulanmış deri gruplarının LOI değerleri sırasıyla %29.2, %30.5 ve %31.2 olarak tespit edilmişken kontrol numunesi için bu değer %19.0 olarak belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Plazma, Deri, Boraks, Alev Geciktirici, Döşemelik

\* Corresponding Author: İstanbul University-Cerrahpaşa, Vocational School of Technical Sciences, Leather Technology Programme, Büyükkçekmece, İstanbul, ORCID: 0000-0002-1206-7726, [mericgokalp@gmail.com](mailto:mericgokalp@gmail.com)



## 1. Introduction

Flame Retardants can be classified as halogen containing and halogen-free products (Kaya, 1998; Açikel, 2018a; Açikel *et al.*, 2017, Açikel, 2018). Borax and derivatives which are in the class of inorganic chemicals and are used for flame retardancy as well as in many fields such as agriculture, plastic, nuclear, glass and ceramics, textile, etc. The flame retardation effect of borax has been the subject of many studies, because borax has a high ignition temperature, does not cause toxic gases during combustion and does not emit emissions that will pollute the environment. Borax flame retardants act as a barrier by forming a glassy protective layer on the surface of the material. They cut off the contact of the burning material with oxygen and retard combustion of it (Açikel 2018b; Çakal *et al.*, 2012; Akarslani 2015; Bozacı 2018; Gelgeç *vd.*, 2019, Aydın, 2016). Plasma technology is often referred to as the fourth state of matter. Plasma is mostly comprised of positively charged ions, electrons and neutral particles. Occurred reactive particles are used for cleaning, cross-section, surface activation, corrosion, vaccination without changing main properties of material. This technology is widely used today in the textile industry to provide waterproofing, hydrophilic character, bleaching, dyeing, plasma polymerization, antimicrobial properties, addition of new reactive groups, adhesion enhancement, crosslinking, sterilization (Aslan *et al.*, 2016; Acikel *et al.*, 2013). Atmospheric pressure plasma application is more suitable for industrial production and low cost than other plasma pressures, and has more homogeneous and faster processing based on plasma density. Atmospheric pressure plasma processes can interfere with other gases such as oxygen and hydrogen in the air and can be converted into forms such as hydroxyl radical (OH), ozone (O<sup>3</sup>), nitric oxide (NO), superoxide anion (O<sup>2-</sup>) because of open systems (Kaygusuz *et al.*, 2018; Koizhaiganova *et al.*, 2017). These transformations can also reveal different synergistic effects on the surface of material. So in this study, firstly the leathers were modified by atmospheric pressure plasma treatment in order to better bond the borax chemical to the leather surface. After application of different concentration of borax chemical on the surface of the leather, combustion properties of the leathers were investigated.

## 2. Material and Method

### 2.1. Material

Wet blue cattle leathers were supplied from the leather company in Tuzla Leather Industrial Area. Boric acid (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) (99%, extra pure) and Borax (Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>·10H<sub>2</sub>O) (99%, extra pure) were purchased from Tekkim Ltd. Chemical Company (Turkey) (Figure 1.)

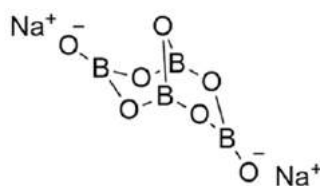


Figure 1. Molecular Structure of Borax

In the recipe of retanning process; Farben shine forel HT was used as nonionic Tencid, Tan Krom AB was used as Chrome Tannin, Alpine MX was used as Resin Tannin, Farben Retan N was used as Phenolic Syntan, Tara was used as Vegetal Tannin, Alpine Soft TK was used as synthetic oil, Farben Shine Grossöl ff was used as phosphoric ester oil, Alpine Soft SB was used as sulfite fish oil. In the finishing recipe; different chemicals were used, Pelle Curtecin PU 3234 (Farben b.v.) as polyurethane binder, Pelle Curial Binder OBN (Farben b.v.) as acrylic binder, Pelle Curtefill CP 5200 (Farben b.v.) as filler, Pelle Curtebind Lustre TE (Farben b.v.) as casein binder, Sarkol K Dark Brown (Sarchem b.v.) as Pigment, Pelle Curtewax 4012 N (Farben b.v.) as wax, Supronil Dark Brown (Clariant b.v.) as anilin dye, Melio EW 348B (Clariant b.v.) as hydrolacque, Melio WF 5226 (Clariant b.v.) as feeling agent.

### 2.2. Method

#### 2.2.1. Retanning Process

The retanning proces of leather samples was made according to upholstery leather manufacture recipe given in Table 1.

#### 2.2.2. Plasma Treatment

Surface modification of leather samples was achieved by atmospheric pressure plasma device of laboratory scale (Technoplasma, Turkey) that produces plasma at radio frequency for improvement of wetting characteristics of all leather samples before borax flame retardant chemical applications. After placing the samples below the nozzle of the plasma device, argon ions were discharged to the leathers. The physical parameters such as power supply, nozzle's diameter, and distance of electrodes were optimized for leathers. The optimized plasma parameters were at a frequency of 50 kHz and 200 Watts power. Argon gas pressure was set as 150 bar pressure and gas flow rate as 18 min/L. (Figure 2.) A copper electrode of length 15 cm and diameter 2 mm was placed in the center of the nozzle and the distance from the tip of the nozzle to the leather was set to 10 mm. The nozzle had an internal diameter of 8 mm, a thickness of 1 mm and the internal diameter of the glass at the mouth of the nozzle was 5,5 mm.

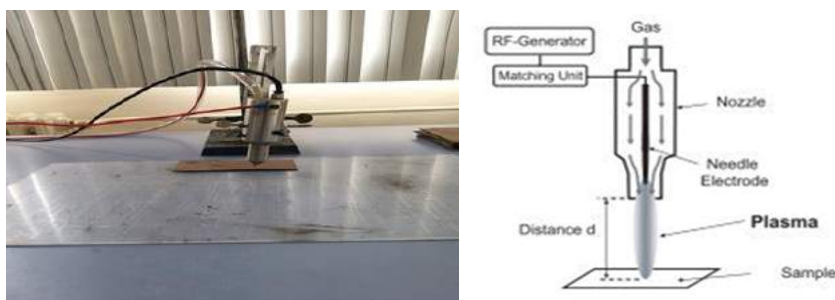


Figure 2. Experimental set-up of Atmospheric Plasma Machine

Table 1. Retanning Process Recipe of Leathers

Process	Chemical	Rate (%)	Time (min)	Temperature (°C)	Remarks
<b>Weight</b>					
<b>Bleaching</b>	Water	300		40	
	Oxalic Acid	0,2			
	Nonionic Tencid	0.3			
	Formic Acid	0,2	60		Drain
<b>Washing</b>	Water	200	10	30	Drain
<b>Chrome Retanning</b>	Water	200		30	
	Chrome	3	60		
	Sodium Formate	0,5	30		pH:3.8-4.0
<b>Neutralization</b>	Water	150		35	
	Sodium Formate	2	20		
	Sodium Bicarbonate	1,2	60		
					pH:5,5
<b>Washing</b>	Water	200	10	30	
					Drain
<b>Retanning</b>	Water	150		25	
	Resin Tannin	2	10		
	Phenolic Syntan	3	10		
	Vegetal Tannin	2	10		
<b>Dyeing</b>	Ammonia	0,5	5		
	Acid Dye	4	60		
	Formic Acid	2	30		pH:4
<b>Fatliquoring</b>	Water	150		70	
	Synthetic Oil	5			
	Phosphoric Ester Oil	5			
	Fish Oil	3	60		
	Formic Acid	0,5	30		pH:4 Drain
<b>Washing</b>	Water	200	10	30	Drain

### 2.2.3. Flame Retardant Application

The rates of borax flame retardant solution were prepared from borax (0, 30 g/L, 40 g/L, 50 g/L) and boric acid (10 g/L). They were dissolved in distilled water and the solutions were stirred for 30 minutes at 90°C to obtain homogeneous mixture. Leather padding technique, which is a kind of finishing technique made by hand, is used for the intense or decorative pattern finishing applications. Borax solutions were applied to leathers at different concentrations by this technique (Acikel etc., 2018). All leathers were dried at the room temperature for 24 h and then same application was repeated once again.

### 2.2.4. Finishing Process

After application of the proposed flame retardant mixture, the leather samples were finished with the standard finishing recipe given in Table 2.

Table 2. Finishing Recipe of Leathers

Chemical	Rate	Application
1) Polyurethane Binder (g)	100	1) 2x Spray Press (85 atm, 80 oC, 1sn) 2 x Spray Press (85 atm, 80 oC, 1sn)
Acrylic Binder (g)	100	
Protein Binder (g)	50	
Filler (g)	50	
Casein Binder (g)	25	
Waks (g)	75	
Pigment Dye (g)	80	
Anilin Dye (g)	20	2) 1 x Spray Press (100 atm, 90oC, 1 sn)
Water (g)	500	
2) Hydrolacque (g)	100	

### 2.3. Measurements

Limit oxygen index (LOI) tests were performed in a limiting oxygen index chamber with strips of leathers according to ASTM D 2863-77 in the Textile Department Test Laboratory of Dokuz Eylül University. 15 pieces of leather samples for each group (140 mm x 60 mm) were taken from flame-retardant leathers and were used for parallel tests.

#### 2.3.1. Thermogravimetric (TGA) Analysis

Thermogravimetric analysis (TGA) of the flame retardant leathers (0, 30 g/L, 40 g/L and 50 g/L) were conducted at heating rates of 20°C min<sup>-1</sup> under air atmosphere (flow 60 mL min<sup>-1</sup>) between 35°C and 800°C temperatures using TGA (Mettler Toledo). Sample mass was approximately 5 mg. TGA curves were mapped by computer automatically.

#### 2.3.2. Scanning electron microscope (SEM) Analysis

For SEM analysis, the samples were placed on a scanning electron microscope (Fei-Quanta Feg 250) and their images were taken at 400 µm magnification.

#### 2.3.3. FTIR Analysis

FTIR analysis was conducted in order to determine the differences in the chemical properties of leather treated with Borax and control group. FTIR studies were conducted on JASCO FT/IR-6700. For this purpose, the leather samples were scanned with IR spectrums at a wavelength of 4000-600 cm<sup>-1</sup> and the results were evaluated in the FTIR Spectrum Software and compared with the spectrums in the literature.

#### 2.3.4. Hydrophilicity Measurements

Plasma treated leathers were conditioned under standard atmospheric conditions as recommended in IUP 1 and IUP 3 at a temperature of 23°C ± 2°C and 50% ± 5% relative humidity, and the sampling location was determined according to IUP 2. Wettability of the leather samples was characterized by the water droplet test (IUP/420). Five readings were taken from different parts of the treated and untreated leather samples.

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Limit Oxygen Index (LOI) Tests

LOI results of plasma applied and borax treated upholstery leathers were given in Table 3. According to the obtained results, 30 g/L, 40 g/L, 50 g/L borax applied leather groups had 29.2%, 30.5% and 31.2% LOI values respectively, while control sample had 19.0%. When these results were examined, it was found that there were quite high LOI values compared to other flameretardant chemicals used for leather in the literature.

Açikel used in a research the boron derivatives to increase the effect of commercial flame retardant and in this research the chemical mixture ratios of 10 g/L zinc borate + 60 g/L boric acid + 200 g/L commercial flame retardant were found to have maximum 29.9% of LOI results. In another research Açikel (2018) was reached maximum 30.5% LOI value with tributyl phosphate (TBP) applied upholstery leathers. Lyu etc. (2019) prepared Zanthoxylum bungeanum Maxim Seed Oil nanocomposites to enhance thermal stability of leather by the oil barrier on the collagen fibers and they reached maximum 28.0% limiting oxygen index (LOI). So in our study, these high LOI values were thought to be due to a synergistic effect between atmospheric pressure plasma treatment and borax.

Table 3. LOI Results of Borax Treated Leathers

Group (g/L)	LOI (%)
0	19.0
30	29.2
40	30.5
50	31.2

### 3.2. Thermogravimetry Thermal (TGA) Analysis

TGA results of the upholstery leathers treated with borax chemical and then plasma modified are given in Figure 3. According to TGA results, TGA curve by graphical illustration is seen that 0 g/L group is at the bottom of the graph because it burns much faster than other groups. The completely burned temperature of 0 g/L group which is mean the temperature of maximum weight loss, is much lower than that for the others groups. While the temperature of maximum weight loss is reached 290°C in 0 group, the temperatures of 30 g/L, 40 g/L, 50 g/L groups are increased respectively to 310°C, 330°C and 360°C because of flame reterdant effect of Borax chemical (Table 4).

Açikel (2018) used phosphorous-based TBP chemical for flame retardancy effect in upholstery leather. In this study, while the maximum mass loss in the untreated leathers TGA analysis was 317 °C, the temperatures in the TBP applied leathers were reached between 322 °C and 328 °C. So plasma treated and borax applied uphosltery leathers gave better TGA results than TBP chemicals (Table 4).

Table 4. The Temperature of Maximum Weight Loss in TGA Analysis of Borax Treated Leathers

Group	0 g/L	30 g/L	40 g/L	50 g/L
Tmax (°C)	290 °C	310 °C	330 °C	360 °C

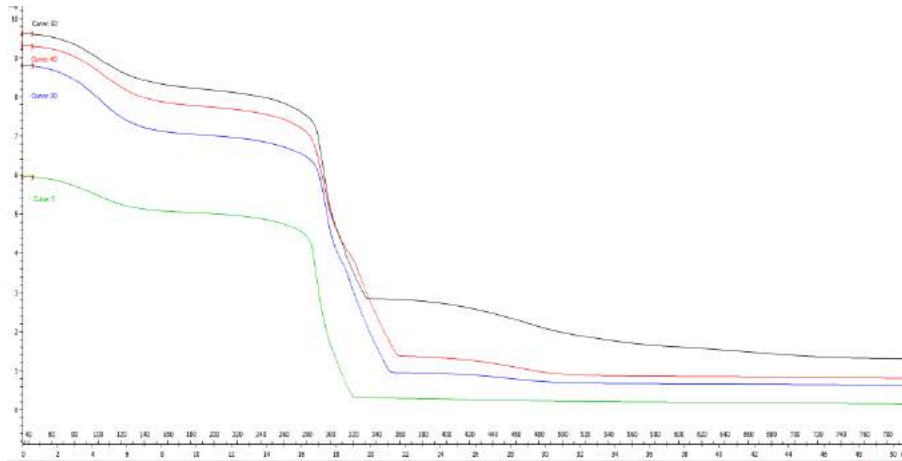


Figure 3. TGA Results of Borax Treated and Plasma Applied Leathers

### 3.3. FTIR Analysis

FTIR results of borax applied leathers are shown in Figure 4. According to results, FTIR curves gave in all gorups, which have some characteristic peaks of collagen structure. However some bands were occurred or increased after borax applications and these are 798  $\text{cm}^{-1}$ , 1080  $\text{cm}^{-1}$ , 2306  $\text{cm}^{-1}$ , 3411  $\text{cm}^{-1}$ , 3728  $\text{cm}^{-1}$ . The band at 798  $\text{cm}^{-1}$  was related to O-H and symmetric stretching band of B-O (Acikel, 2018b). The peak at 1080  $\text{cm}^{-1}$  observed in the leather sample with 50 g/L borax solution indicated the stretching of B-O vibrations (Yılmaz and Pişkin, 2017).

The 3400  $\text{cm}^{-1}$  and 3500  $\text{cm}^{-1}$  bands interval represent intermolecular bonded of O-H stretching. 3411  $\text{cm}^{-1}$  and 3728  $\text{cm}^{-1}$  peaks were corresponding to the bounding B-O and O-H groups in leather samples. Another proof of this was shown in 2306  $\text{cm}^{-1}$  peak which is C-O-C strong stretching occurred because of chemical bounding of borax. These new peaks are indicated the presence of borax and boric acid in the treated leather samples (Bozacı, 2018).

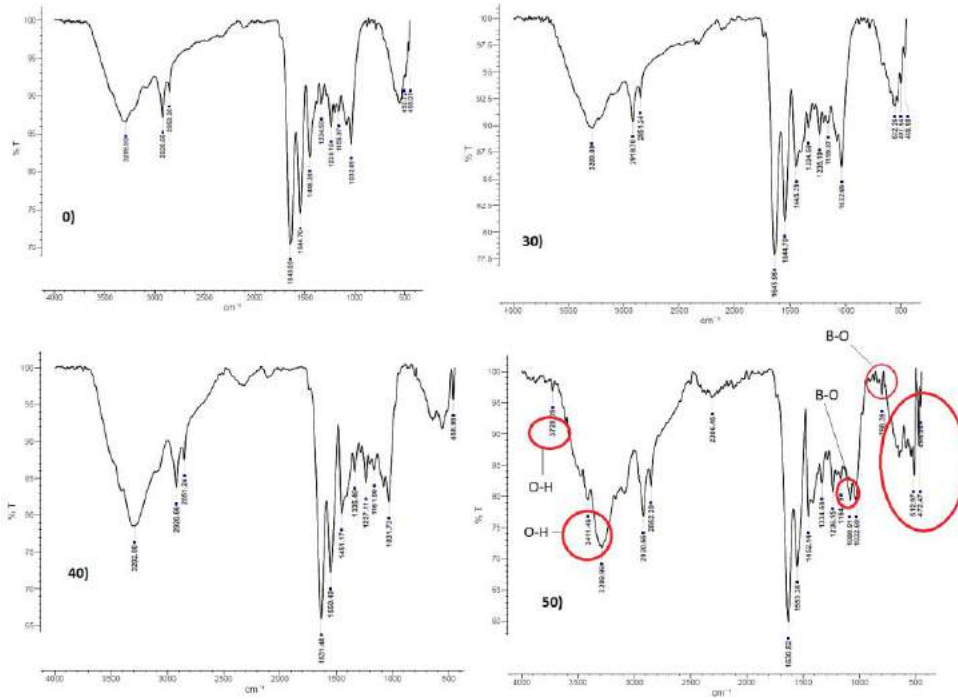


Figure 4. FTIR Results of 0 g/L, 30 g/L, 40 g/L and 50 g/L Leathers

### 3.4. Hydrophilicity Results

Plasma treatment causes changes in the hydrophilicity of the surface of the material by the effect of the gas used (Acikel etc., 2013). Particularly, the increase in hydrophilicity will provide better penetration of the chemical to the surface. In this study; 30 g/L, 40 g/L and 50 g/L group leathers were treated by same plasma parameters in order to see increasing hydrophilicity on the leathers by synergic effect of borax and plasma. Hydrophilicity results of plasma treated and borax applied leathers are given in Table 5.

Table 5. Hydrophilicity Results of Leather Samples

Samples	Hydrophilicity (Second)	Samples	Hydrophilicity (Second)
0-1	300	40-1	59
0-2	362	40-2	54
0-3	358	40-3	55
0-4	374	40-4	58
0-5	360	40-5	60
<b>Total</b>	<b>350,8</b>	<b>Total</b>	<b>57,2</b>
30-1	61	50-1	55
30-2	69	50-2	51
30-3	58	50-3	52
30-4	60	50-4	59
30-5	65	50-5	50
<b>Total</b>	<b>62,6</b>	<b>Total</b>	<b>53,4</b>

According to results; it is seen that 0 group leathers which were not treated with atmospheric pressure plasma, have very high hydrophobic properties. However, the hydrophilicity of the leathers was significantly increased after argon gas-containing atmospheric pressure plasma treatment and application of borax at different concentrations. The fact that the absorption forces of the leathers had approximately the same values was not related to the amount of borax used, but this result was associated with the same plasma duration. In other words, the application of atmospheric pressure plasma has changed the surface hydrophilicity properties of the material.

### 3.5. SEM Results

SEM images of the leather samples are shown in Figure 5. SEM photographs showed that the pores of leathers activated with argon had widened in all borax applied samples. It also caused some roughness on the leather surface due to plasma application (Koizhaiganova etc., 2017).



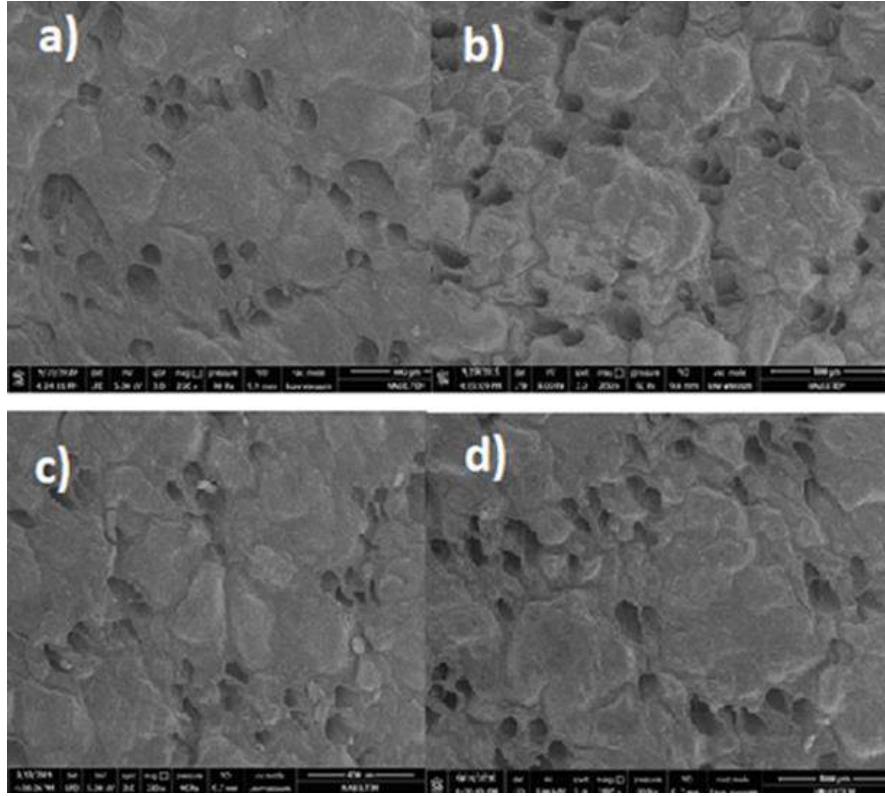


Figure 5. SEM Results of Treated Leathers

#### 4. Conclusions

In this study, in order to improve the flame retardancy property of upholstery leathers; borax solution with different concentrations (0 g/L, 30 g/L, 40 g/L and 50 g/L) were used after argon atmospheric pressure plasma application. In the results, the maximum LOI value was obtained as 31.2% in 50 g/L borax applied leathers. Borax chemical, which is more ecological and cheaper than phosphorus or halogen-based chemicals, show much better flame retardant effect in the upholstery leathers. When TGA thermograms are examined, it was determined that flame temperature of leathers was increased after treatment with borax compound. Finally it was concluded that the flame retardancy property of the leathers has been improved when boron compound and plasma applied together to the leathers.

#### References

- Açikel S.M., Aslan A., Oksuz L., Aktan T. 2013. Effects of Atmospheric Pressure Plasma Treatments on Various Properties of Leathers, Journal of the American Leather Chemists Association, 108(7):266-276.
- Açikel S.M., Çelik C., Gültek A.S., Aslan A. 2017. The Flame Retardant Effect of Tributyl Phosphate on The Leathers, International Journal of Scientific and Technology Research, 6:44-48.
- Açikel S.M. 2018a. Researching of Properties of Gained Flame Retardancy on the Upholstery Leathers by Tributyl Phosphate Chemical, Sakarya University Journal of Science, 22 (5):1-7.
- Açikel S.M., 2018b. Development of Commercial Flame Retardant in Upholstery Leathers by Boron Derivatives, Tekstil ve Konfeksiyon, 28:319-323.
- Açikel S.M., Çelik C., Gürbüz D., Çınarlı A. 2018. Flame Retardant Effect of Tri Butyl Phosphate (TBP) İn Vegetable Tanned Leathers, Tekstil ve Konfeksiyon, 28:135-140.
- Akarşlan F. 2015, Investigation on Fire Retardancy Properties of Boric Acid Doped Textile Material”, Acta Physica Polonica Series a, 128:403-405.
- Aslan A., Oztarhan A., Acikel S.M., Oks E., Nikolaev A.G. 2015. Properties of Metal and Metal-Gas Hybrid Ion Implanted Chrome-tanned Leather Surfaces, Journal of The Society of Leather Technologists and Chemists, 99(5):209-215.
- Aydın D.Y., Gürü M., Ayar B., Çakanyıldırım Ç. 2016, Bor Bileşiklerinin Alev Geciktirici ve Yüksek Sıcaklığa Dayanıklı Pigment Olarak Uygulanabilirliği, Boron Dergisi, 1 (1):33 – 39.
- Bozacı E. 2018, Borlu bileşiklerin çevre dostu yöntemlerle poliakrilnitril kumaşlara uygulanması, Boron Dergisi, 3 (1):17-23.
- Çakal G.Ö., Gögebakan Z., Coşkun S. 2012, Investigation of Synergistic Effect of Boron on Fire Retardancy of Cotton Fabrics, Textile and Apparel, 18 (4):547–553.
- Geleş E., Yıldırım F.F., Yumru Ş., Çörekoğlu M. 2018. Bor Bileşikleri Pamuklu Kumaşların Güç Tutuşurluk Özelliklerinin Geliştirilmesi, Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi, 2 (26): 27-44.
- IULTCS, 1998, Water Droplet Test, IUP/420 EN ISO 15700.
- IULTCS, 2002, Sampling, UP/2 EN ISO 2418.

IULTCS, 2012a, General Remarks, IUP/1 EN ISO 2419.

IULTCS, 2012b, Conditioning in Standard Atmosphere, IUP/3 EN ISO 2419.

Kaya M., 1998, Alev Geciktirici Ve Duman Bastırıcı Katkı Maddeleri, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, 11(2):77-88.

Kaygusuz M., Meyer M., Junghans F., Aslan A. 2018. Modification of Leather Surface with Atmospheric Pressure Plasma and Nanofinishing, Polymer-Plastics Technology and Engineering, 57(4):260-268.

Koizhaiganova M., Meyer M., Junghans F., Aslan A. 2017. Surface Activation and Coating on Leather by Dielectric Barrier Discharge (DBD) Plasma at Atmospheric Pressure, 101(2):86-93.

Lyu B., Wang Y.F., Gao D.G., Ma J.Z., Li Y., 2019, Intercalation of modified zanthoxylum bungeanum maxin seed oil/ stearate in layered double hydroxide: Toward flame retardant nanocomposites, Journal of Environmental Management, 238:235-242.

Yılmaz M.S and Pişkin S., 2017, Comparative Study on Two Different Methods for the Synthesis of Hydrated Sodium Metaborates Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 7(2):563-567.



# Tekstil Kompozitlerinin Elektromanyetik Kalkanlama Testlerinin Yapılmasında Kullanılmak Üzere Ekonomik Bir Kutu-Test Düzeneginin Geliştirilmesi

Devrim Demiray Soyaslan<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Polimer Mühendisliği Bölümü, Burdur, Türkiye, (ORCID: 0000-0000-0000-0000)

(İlk Geliş Tarihi 13 Kasım 2019 ve Kabul Tarihi 7 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.646344)

**ATIF/REFERENCE:** Soyaslan, D. D. (2019). Tekstil Kompozitlerinin Elektromanyetik Kalkanlama Testlerinin Yapılmasında Kullanılmak Üzere Ekonomik Bir Kutu-Test Düzeneginin Geliştirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 852-859.

## Öz

Son yıllarda iletken tekstil ve kompozitleri, elektromanyetik girişimlerin gücünü zayıflatmak için yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu malzemelerin, elektromanyetik koruyucu olarak fonksiyonellikleri, ekranlama etkinliklerinin (shielding effectiveness) doğrudan ölçümü ile değerlendirilmektedir. Günümüzde; elektromanyetik koruyucu malzemenin boyutuna ve ölçülen frekans aralığına bağlı olarak çeşitli test yöntemleri kullanılmaktadır. Bu test yöntemlerinin pek çoğu, ölçüm esnasında büyük numune boyutları gerektirmesi ve çok maliyetli olmalarından dolayı fonksiyonel olarak kabul edilmemektedir. Bu nedenle hala, küçük numuneler kullanılarak ölçüm yapabilecek, pratik ve ekonomik olan bir test yönteminin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada; korunmalı kafes metodu (Shielded box (enclosure) method) kullanılarak tasarlanmış bir test düzeneginin tasarım, yapım ve ölçüm prensibi anlatılmaktadır. Korunmalı kafes metodunda tasarlanan kafeslerin halen bir standardının olmaması da, bu konunun hala gelişmeye ve yeniliklere açık olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, çalışmada korunmalı kafes metoduna göre yeni bir test yöntemi tasarlanması yönündeki motivasyonu oluşturmuştur. Tasarlanan düzenekte testlerin gerçekleştirilebilmesi amacı ile numune olarak karbon elyaf ve karbon partikül katkılı epoksi kompozitler kullanılmıştır. Böylece çalışmada, farklı karışım oranlarına sahip dört adet numune ile çalışılmıştır. Tasarlanan kutu test düzeneginin güvenilirliğinin belirlenmesi için, söz konusu düzenekten elde edilen sonuçlar, eş eksenli iletim hattı (coaxial transmission line method based on ASTM D 4935-10) yöntemi ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Eş eksenli iletim hattı kullanılarak yapılan testler ise YorkEMC laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Her iki test yöntemi ile yapılan testler sonucunda, bu çalışmada tasarlanan ve üretilen kutu test düzeneginden alınan sonuçların eş eksenli iletim hattı yönteminden elde edilen sonuçlarla neredeyse çok yakın olduğu ve aralarında belirgin bir fark olmadığı yargısına varılmıştır. Son olarak da; bu çalışmada önerilen yöntemin tekstil ve kompozit yapıların elektromanyetik koruma değerlerinin belirlenmesinde kullanılmak üzere umut verici olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Karbon, Elyaf, Kompozit, Elektromanyetik, Düzenek

## Development of an Economical Box Setup for the Use of Electromagnetic Shielding Tests of Textile Composites

### Abstract

\* Sorumlu Yazar: Xxxx Üniversitesi, Xxxx Fakültesi, Xxxx Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0000-0000-0000, [xxxx@xxx.xx.xx](mailto:xxxx@xxx.xx.xx)

In recent years, conductive textiles and composites have been widely used to weaken the power of electromagnetic interference. The functionality of these materials as electromagnetic shielding is evaluated by direct measurement of shielding effectiveness. Today; various test methods are used depending on the size of the electromagnetic shielding material and the measured frequency range. Many of these test methods are not considered functional because they require large sample sizes during measurement and are very costly. Therefore, there is still a need for the development of a practical and economical test method that can be measured using small samples. In this study; the design, construction and measurement principle of a test setup designed using a shielded box (enclosure) method is described. The fact that the boxes designed in the shielded box method does not yet have a standard reveals that this issue is still open to development and innovation. This was the motivation for designing a new test method according to the shielded box method. In order to determine the reliability of the designed box test setup, the results obtained from this setup were compared with those obtained by coaxial transmission line method based on ASTM D 4935-10. As a result of this comparison, the proposed method is promising for textile and composite structures.

(Minimum 250 - Maximum of 400 words and content should be written in a way to include material, method, findings and results.)

**Keywords:** Carbon, Fiber, Composite, Elektromanyetik, Setup

## 1. Giriş

Son yıllarda elektromanyetik (EMI) koruyucu malzemelerin; mikrodalga fırın, mobil telekomünikasyon, Wi-Fi, radar ve benzeri tüm radyasyon kaynaklarından canlı organizmaların korunmasında ve bu kaynakların neden olduğu girişimlerden devrelerdeki hassas bileşenleri ve parçaları korumak amacıyla, oldukça dikkat çektikleri bilinmektedir (Yang, Gupta, Dubley, & Lawrence, 2005); (Micheli, Vricella, Pastore, & Marchetti, 2014); (Neo & Varadan, 2004)[1-3]. Bu malzemeler içerisinde, metal bazlı ve polimer bazlı malzemelerin en yaygın kullanılan iki EMI koruyucu malzeme türü oldukları belirtilmektedir (Thomassin, vd., 2013; Han vd., 2001; Jayalakshmi vd., 2019; Chung, 2001; Huang vd., 2007; Al-saleh ve Sundararaj, 2009; Gupta ve Tai, 2019).

Metaller veya metal kaplı materyaller, 40-100 dB arasında elektromanyetik korumaya sahiptirler. Yine de bu materyaller elektromanyetik dalga emici olarak kullanılamazlar. Emilim yoluyla elektromanyetik koruma, deri kalınlığının artmasına bağlı olarak artırılabilir ki bu da materyalin elektriksel iletkenliğinin değiştirilmesiyle sağlanabilir (Kim vd., 2002). Bununla birlikte, metal bazlı malzemeler yüksek sıcaklıklarda yüksek yoğunluklu ve düşük mekanik özelliklere sahiptir ve polimer bazlı malzemeler yüksek sıcaklıktaki ortamlarda kullanılamaz. Bu durumda, sadece mükemmel termal mekanik özelliklere sahip değil, aynı zamanda EMI ekranlama özelliklerine sahip yapısal ve işlevsel bir malzemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Son yıllarda metalik korumaların yerini, dikkate değer esneklik ve hafiflik özelliklerinden dolayı elyaf dolgulu plastikler, kaplama plastikler, iletken laminantlar, çeşitli kompozitler ve çeşitli tipte iletken kumaşlar almaktadır (Safarova vd., 2016; Chen vd., 2015; Stefan vd., 2009; Volski ve Vandenbosch, 2009). Artık bu karmaşık, homojen olmayan ve gözenekli materyallerin de koruma davranışlarının tahminlenmesi yapılabilmektedir (Liu vd., 2014; Lopez vd., 2013). Özellikle karbon elyaf ve karbon partikül dolgulu kompozitler ve bu malzemelerin elektromanyetik koruma etkinliklerinin belirlenmesi çok çalışılan konulardan biri olmuştur. Yapılan çok sayıda çalışma incelendiğinde, bu malzemelerin elektromanyetik koruma etkinliklerinin tespitinin aşağıda belirtilen denklemler esas alınarak yapıldığı tespit edilmiştir (Munalli vd., 2019).

Gelen güç (Incident power) bilindiğinde, iki bağlantı noktasında yansıtılan ve iletilen gücü ölçmek için bir koaksiyel veya dikdörtgen dalga kılavuzu numune tutucusu boyunca bağlanmış iki portlu bir vektör ağ analizörü kullanılabilir.  $P_i$  olarak adlandırılan gelen güç; üç gücün toplamı olarak tanımlanabilir (Denklem 1). Birincisi, hava / kompozit sınırında birinci uca yansıyan güç ( $P_r$ ), ikincisi, soğurulan güç ( $P_a$ ), ve üçüncüsü de, ikinci sınır olan kompozit / hava sınırından sonra iletilen güçtür ( $P_t$ ).

$$P_i = P_r + P_a + P_t \quad (1)$$

$P_i$  : Gelen güç (Incident power)  
 $P_r$  : Yansıyan güç (Reflected power)  
 $P_t$  : İletilen güç (Transmitted power)  
 $P_a$  : Soğurulan güç (Absorbed power)

Güç dengesi göz önüne alındığında; malzemenin ekranlama etkinliği değeri (SE), yansıma yoluyla ekranlama toplamı ile soğurma yoluyla ekranlamanın toplamı olarak verilir ki bu da, aşağıdaki denklemle tanımlanır (Denklem 2).

$$SE = 10 \log_{10} (P_i / P_t) \quad (2)$$

Bir malzemenin elektromanyetik koruma etkinliğini belirlemeye yönelik olarak günümüzde en sık kullanılan metotlar şunlardır (Jagatheesan vd., 2015; Geetha vd., 2009).

Eş eksenli iletim hattı (Coaxial transmission line method)  
Korunmalı oda metodu (Shielded room method)  
Açık alan metodu (Open field or Free space method)

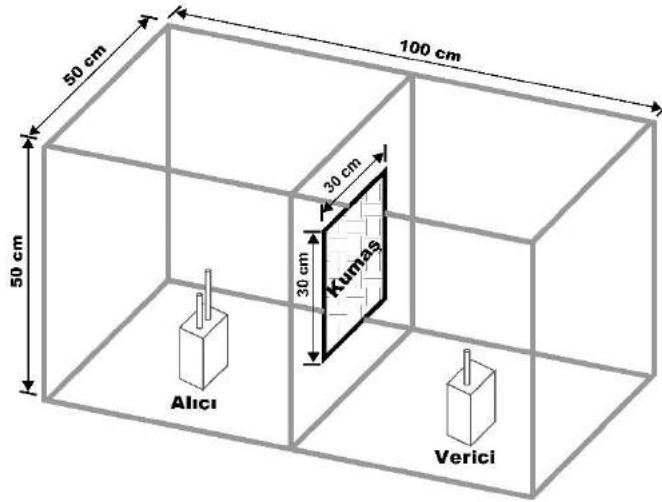
Korunmalı kafes metodu (Shielded box (enclosure) method)

Yukarıda belirtilen her metodun avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu çalışmada korunmalı kafes metodu (Shielded box (enclosure) method) baz alınarak geliştirilmiş bir test düzeneği tasarlanmıştır. Tasarlanan bu test düzeneği kullanılarak korunmalı kafes metoduna göre yapılan ölçümler ile ASTM D 4935-89 standardını temel alan NBS Eş eksenli iletim hattı metoduna (NBS Flanged Coaxial Transmission Line Test Fixture) göre yapılan ölçümler karşılaştırılmıştır.

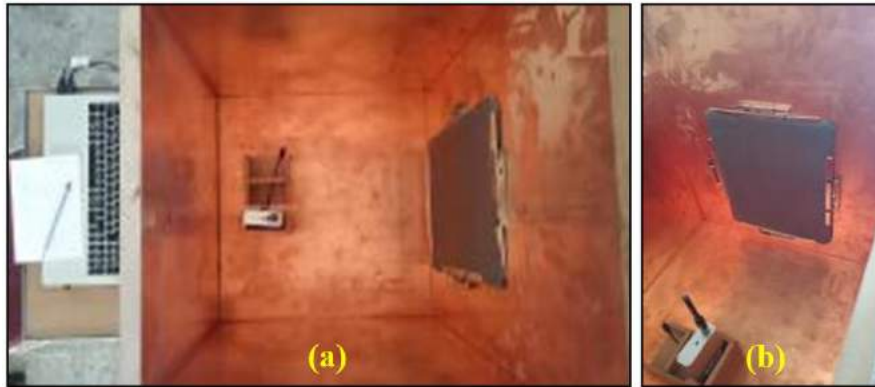
## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Korunmalı Kafes Metoduna Göre Kutu Test Düzeneğinin Tasarlanması

Çalışmada tasarlanan düzenek; ahşap kontraplak malzeme kullanılarak dikdörtgenler prizması şeklinde tasarlanmış ve Şekil.1’de gösterildiği üzere boyutlandırılmıştır. Düzeneğin iç duvarları; 10 MHz- 9000 MHz aralığında 100 dB koruma etkinliğine sahip tamamen geçirimsiz, 1 mm kalınlıkta bakır metal bir plaka ile kaplanmıştır. Söz konusu bakır plaka, elektromanyetik koruma uygulamaları için çeşitli malzemeler üreten HollandShielding firmasından temin edilmiş olup elektromanyetik kalkanlama amacıyla piyasada kullanılan bir malzemedir. Söz konusu düzenekte bakır metal plaka kullanılmasının sebebi, ölçümler esnasında dışarıda oluşabilecek elektromanyetik girişimlerin içeride bulunan alıcı ve verici sistemlere ulaşarak veri alışverişini etkilememesi içindir. Düzenek 50x50x100 cm ebatlarında olup eşit boyutlara sahip iki ayrı odacığa sahiptir. Odalardan birisi sinyal verici aparatın (Seed Studio marka el tipi sinyal jeneratörü (RF Handheld Signal Generator)) yerleştirildiği, diğeri ise sinyal alıcı aparatın (Seed Studio marka el tipi spektrum analizör (RF Handheld Spectrum Analyzer)) yerleştirildiği odadır. Odalardan birinin üst kapağı takılıp çıkarılabilir olarak tasarlanmıştır. Düzeneğin tam ortasında, iki odayı birbirinden ayıran ve aynı zamanda numunenin yerleştirildiği portatif, takılıp çıkarılabilir bir paravan bulunmaktadır. Bu paravanın ortasına 30x30 cm boyutlarında numunenin yerleştirileceği bir pencere açılmıştır. Paravan yüzeyinin geri kalan kısmı ise çift yönlü olarak yine bakır metal plaka ile (ölçümler esnasında elektromanyetik dalgaların bir odadan diğerine geçişini engellemek amacıyla) kaplanmıştır (Şekil 2). Ölçüm kutusuna ait dış görünüş Şekil 3 ‘de verilmiştir.



Şekil.1. Elektromanyetik koruma etkinliği ölçüm kutusuna ait şematik çizim



Şekil 2.(a) Elektromanyetik koruma etkinliği ölçüm kutusu (bakır plaka ile kaplanmış bir odanın üstten iç görünüşü ve ortada bulunan pencereye numune yerleştirilmiş hali), (b) Numunenin pencereye sabitlenmesi ve el tipi sinyal jeneratörü ve el tipi spektrum analizör cihazlarının odacıklara konumlandırılması





Şekil 3. Dikdörtgenler prizması şeklinde tasarlanmış Elektromanyetik koruma etkinliği ölçüm kutusunun dış görünüşü

Ölçümü yapılmak istenen numune, paravanda bulunan pencereye sabitlenmiş (Şekil 2) ve bir adet el tipi sinyal jeneratörü bir odaya ve bir adet el tipi spektrum analizör de diğer odaya konumlandırılarak bilgisayar aracılığı ile veriler kontrol altına alınarak ve elektromanyetik koruma etkinliği testleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 4).



Şekil.4. El tipi sinyal jeneratörü ve el tipi spektrum analizör aparatların ölçüm kutusunun iki ucundaki odacıklara konumlandırılması ve verilerin bilgisayar aracılığıyla işlenmesi

Tasarımı yapılan test düzeneğinin ölçümlerinin, standartlara uygun bir başka test cihazının ölçümleriyle kıyaslanması ile ilgili olarak da, ASTM D 4935-89 standardını temel alan NBS test düzeneği (NBS Flanged Coaxial Test Fixture) seçilmiştir. NBS test düzeneğinin (Şekil 5) seçilmiş olmasının nedeni, benzer prensibe göre tasarlanan diğer bazı düzeneklerden farklı olarak (ASTM ES- 7 Coaxial Transmission Line Fixture), bu test düzeneğinde elektriksel kontak probleminin elimine edilmiş olmasıdır. Bu nedenle bu düzenek, yüzeyi kısmen veya tamamen izole edilmiş materyallerin elektromanyetik koruma performans testleri için daha uygun görülmektedir. Çalışmada araştırma yapılacak olan epoksi kompozit numunelerinin yüzeylerinin kısmen izole olmaları, bu materyallerin ekranlama verimliliği testlerinin yapılmasında NBS test düzeneğinin seçilmesinin en önemli nedenidir.



Şekil 5. ASTM D 4935-89 standardına göre geliştirilmiş NBS test düzeneği

## 2.2. Test Ölçümleri İçin Kullanılan Numunelerin Özellikleri

Çalışmada, dört farklı numune kullanılmıştır. Numuneler; epoksi matrisi içerisine karbon elyaf ve/veya karbon partikül ilave edilmiş kompozit numunelerdir. Numunelerin üretimi; epoksi içerisine karbon elyaf ve/veya karbon partiküllerinin mekanik mikserde karıştırıldıktan sonra, elle kalıplara dökülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Numunelere ait özellikler aşağıda Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Numunelere ait özellikler

Numune kodu	Kalınlık (mm)	Yoğunluk (g/cm <sup>2</sup> )	100g epoksi içerisinde bulunan karbon elyaf miktarı (g)	100g epoksi içerisinde bulunan karbon partikül miktarı (g)
N1	3,9	0,455	-	-
N2	7,4	1,4	1	-
N3	2,8	0,5	0,5	0,5
N4	3,76	0,612	-	1

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

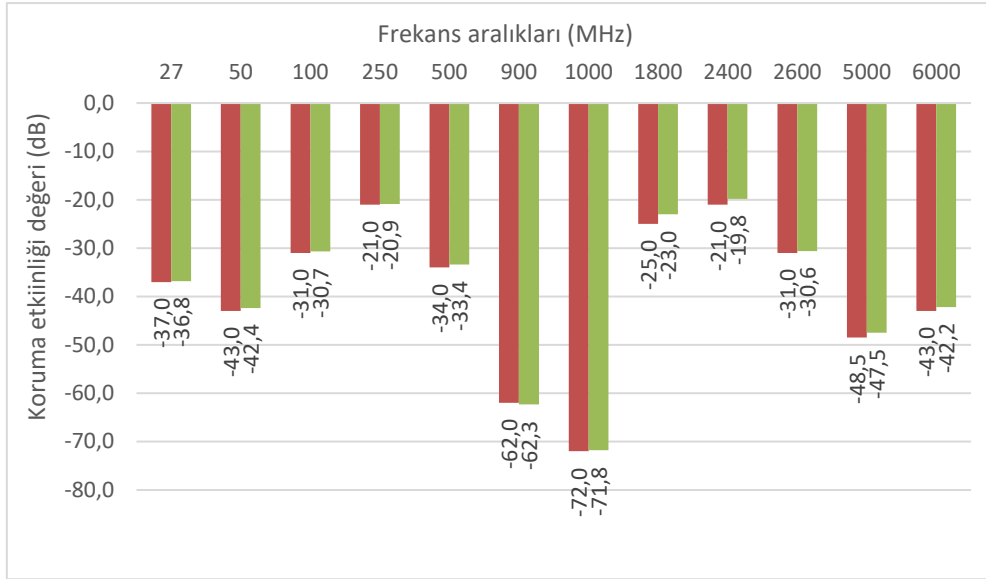
Elde edilen numuneler önce çalışma kapsamında tasarlanan ölçüm kutusunda ölçümlere tabi tutulmuş, ardından Eş eksenli iletim hattı (Coaxial transmission line method) test düzeneğinde ölçülmüşlerdir. Aşağıda Tablo 2’de ‘Ölçüm kutusu’ndan elde edilen elektromanyetik koruma etkinliği değerleri verilmiş olup, Tablo.3’de ise ‘Eş eksenli iletim hattı (Coaxial transmission line method) test düzeneği’nde elde edilen koruma etkinliği değerleri verilmiştir. Şekil 6, Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9’da, her iki ölçüm düzeneğinden elde edilen değerlerin numuneler bazında ayrı ayrı karşılaştırılması grafiksel olarak verilmiştir. Bu grafiklerde, kırmızı renk ile gösterilen değerler ‘Ölçüm kutusu’ndan elde edilen elektromanyetik koruma etkinliği değerlerini temsil ederken, yeşil renk ile gösterilen değerler ‘Eş eksenli iletim hattı (Coaxial transmission line method) test düzeneği’nde elde edilen koruma etkinliği değerlerini temsil etmektedir. Grafiklerden de görüldüğü üzere, her dört numune tipinde de iki ölçüm düzeneğinden elde edilen değerler birbirleri ile uyumludur ve çok yakın değerler elde edilmiştir.

Tablo 2. Ölçüm kutusundan elde edilen elektromanyetik koruma etkinliği değerleri

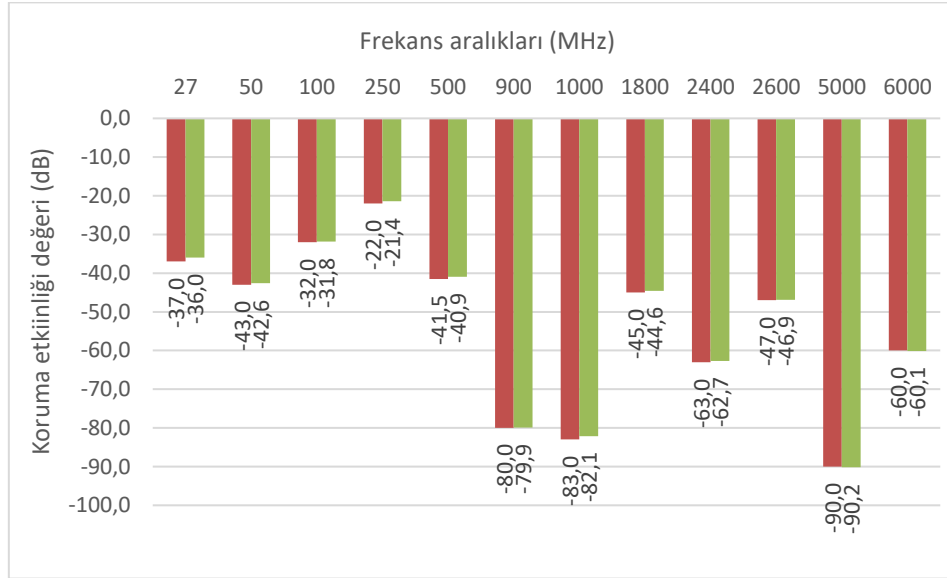
Frekans (MHz)	27	50	100	250	500	900	1000	1800	2400	2600	5000	6000
N1	-37	-43	-31	-21	-34	-62	-72	-25	-21	-31	-48.5	-43
N2	-37	-43	-32	-22	-41.5	-80	-83	-45	-63	-47	-90	-60
N3	-37.5	-44	-32	-22	-44	-83	-85	-48	-44	-44	-75	-60.5
N4	-37.5	-43	-32	-21	-32.5	-62	-72	-24	-26	-32	-54	-54

Tablo 3. Eş eksenli iletim hattı (Coaxial transmission line method) kullanılarak elde edilen ölçüm sonuçları

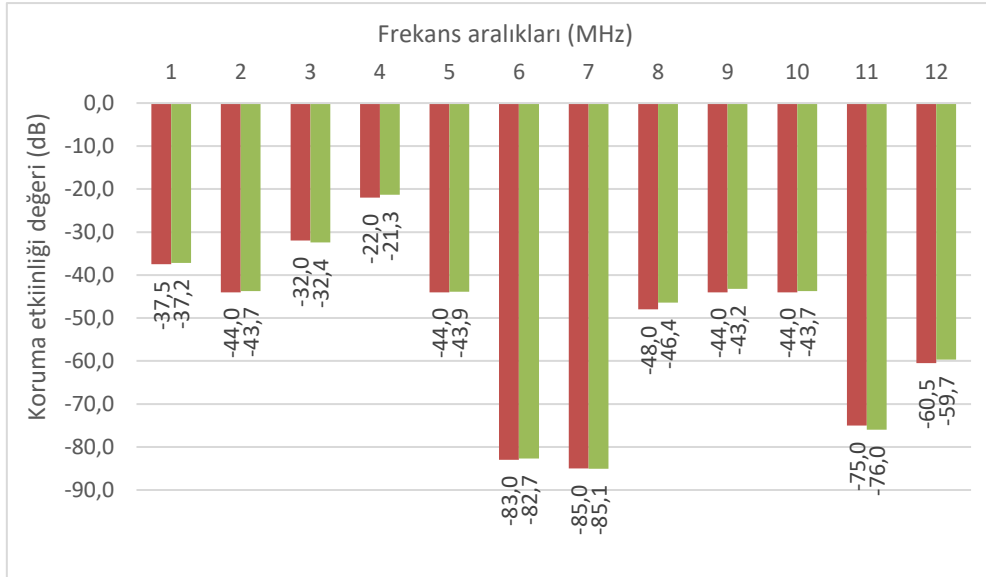
Frekans (MHz)	27	50	100	250	500	900	1000	1800	2400	2600	5000	6000
N1	-36,8	-42.4	-30.7	-20.9	-33.4	-62.3	-71.8	-23	-19.8	-30.9	-47.5	-42.2
N2	-36	-42.6	-31.8	-21.4	-40.9	-79.9	-82.1	-44.6	-62.7	-46.9	-90.2	-60.1
N3	-37.2	-43.7	-32.4	-21.3	-43.9	-82.7	-85.1	-46.4	-43.2	-43.7	-76	-59.7
N4	-37.1	-43.1	-30.9	-20.7	-32.3	-61.1	-72.0	-23.6	-26.4	-31.7	-53.9	-53.8



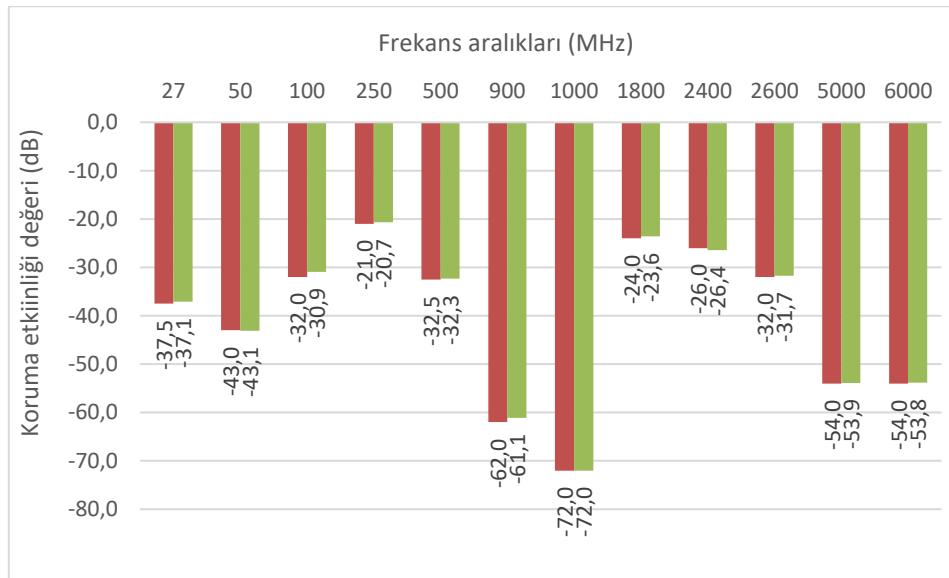
Şekil 6. N1 numunesinin, ölçüm kutusu ve eş eksenli iletim hattı düzenekleri kullanılarak elde edilen ölçüm sonuçları



Şekil 7. N2 numunesinin, ölçüm kutusu ve eş eksenli iletim hattı düzenekleri kullanılarak elde edilen ölçüm sonuçları



Şekil 8. N3 numunesinin, ölçüm kutusu ve eş eksenli iletim hattı düzenekleri kullanılarak elde edilen ölçüm sonuçları



Şekil 9. N4 numunesinin, ölçüm kutusu ve eş eksenli iletim hattı düzenekleri kullanılarak elde edilen ölçüm sonuçları

#### 4. Sonuç

Çalışmada, karbon elyaf ve carbon partikül destekli epoksi kompozitlerin elektromanyetik koruma performanslarının belirlenmesi amacıyla "Korunmalı kafes metodu (Shielded box (enclosure) method)" esasına göre bir test kutusu tasarlanmış ve üretilmiştir. Test kutusu, 50x50x100 cm ebatlarında tamamen geçirimsiz olacak şekilde tasarlanmış ve bu amaçla kutu iç duvarları elektromanyetik yalıtım özelliğine sahip bakır metal levha ile kaplanmış ve sızdırma ihtimali olan bölgeler için de tampon aksesuarlar kullanılmıştır. Ölçümler için el tipi sinyal jeneratörü ve spektrum analizör kullanılmıştır. Kutu test düzeneğinde yapılan ölçümlerin karşılaştırılabilmesi için numuneler ayrıca York EMC Laboratuvarlarında bulunan "Eş eksenli iletim hattı (Coaxial transmission line method)" test düzeneğinde ölçülmüşlerdir. Her iki test düzeneğinden elde edilen sonuçların birbirleriyle uyumlu oldukları, aralarında kayda değer bir sapma olmadığı belirlenmiştir.

Çalışmada tasarlanan kutu test düzeneği; oldukça ekonomik, kullanıcı dostu ve açık alan ölçümlerine kıyasla nispeten daha küçük numune boyutu gerektirmesi gibi nedenlerden dolayı avantajlı ve uygulanabilir olarak nitelendirilmiştir. Çalışma sayesinde "Korunmalı kafes metodu" esasına göre bir düzenek geliştirilmiş olup ülkemiz bilim insanlarına bu alanda daha hızlı ve daha ekonomik çalışma fırsatı tanınmış ve dışa bağımlılık belirli bir oranda azaltılmıştır.

“Eş eksenli iletim hattı (Coaxial transmission line method)” test düzeneği ile yapılan ölçümler ile karşılaştırma sonucunda, “Korunmalı kafes metodu” esasına göre geliştirilen düzeneğin orta düzeyde elektrik iletkenliğine sahip tekstil ve kompozit yapıları için umut verici olduğu sonucuna varılmıştır. İlerleyen çalışmalarda kutu test düzeneğinin geliştirilmesi üzerinde daha işbirlikçi çalışmalar yapılması planlanmaktadır.

## Kaynakça

- Al-saleh, M. H., & Sundararaj, U. (2009). Electromagnetic interference shielding mechanisms of CNT/polymer composites. *Carbon*, 47(7), 1738-1746.
- Chen, L., Yin, X., Fan, X., Chen, M., Ma, X., Cheng, L., & Zhang, L. (2015). Mechanical and electromagnetic shielding properties of carbon reinforced silicon carbide matrix composites. *Carbon*(95), 10-19.
- Chung, D. D. (2001). Electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon materials. *Carbon*, 39(2), 279-285.
- Geetha, S., Satheesh Kumar, K. K., Rao, C. R., Vajjyan, M., & Trivedi, D. C. (2009). EMI shielding methods and materials –A review, 2009, 112, 2079-2086. *Journal of Applied Polymer Science*(112), 2079-2086.
- Gupta, S., & Tai, N. H. (2019). Carbon materials and their composites for electromagnetic interference shielding effectiveness in X-band. *Carbon*, 152, 159-187.
- Han, E. G., Kim, E. A., & Oh, K. W. (2001). Electromagnetic interference shielding effectiveness of electroless Cu-plated PET fabrics. *Synthetic Metals*, 123(3), 469-476.
- Huang, Y., Li, N., Ma, Y., Du, F., Li, F., He, X., . . . Chen, Y. (2007). interference shielding efficiency of its epoxy composites. *Carbon*, 45(8), 1614-1621.
- Jagatheesan, K., Ramasamy, A., Das, A., & Basu, A. (2015). Fabrics and their composites for electromagnetic applications. *Textile progress*, 47(2), 87-161.
- Jayalakshmi, C. G., Inamdar, A., Anand, A., & Kandasubramanian, B. (2019). Polymer matrix composites as broadband radar absorbing structures for stealth aircrafts. *Journal of Applied Polymer Science*, Article number: 47241, 136(14), 1-21.
- Kim, M. S., Kim, H. K., Byun, S. W., Jeong, S. H., Joo, J. S., Song, K. T., . . . Lee, J. Y. (2002). PET fabric/polypyrrole composite with high electrical conductivity for EMI shielding. *Synthetic Metals*, 123(2-3), 233-239.
- Liu, Z., Yang, Y., Wang, X. C., & Zhou, Z. (2014). Prediction model of shielding effectiveness of electromagnetic shielding fabric with rectangular hole. *Progress In Electromagnetics Research C*(48), 151-157. doi:10.2528/PIERC14022103
- Lopez, A., Vojtech, L., & Neruda, M. (2013). Comparison Among Models to Estimate the Shielding Effectiveness Applied to Conductive Textiles. *Advances in Electrical and Electronic Engineering*, (11), 387-391.
- Micheli, D., Vricella, A., Pastore, R., & Marchetti, M. (2014). Synthesis and electromagnetic characterization of frequency selective radar absorbing materials using carbon nanopowders. *Carbon*(77), 756-774.
- Munalli, D., Dimitrakakis, G., Chronopoulos, D., Greedy, S., & Long, A. (2019). Electromagnetic shielding effectiveness of carbon fibre reinforced composites. *Composites Part B: Engineering*, 173(15), 1-12.
- Neo, C. P., & Varadan, V. K. (2004). Optimization of carbon fiber composite for microwave absorber. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 46(1), 102-106.
- Safarova, V., Tunak, M., Truhlar, M., & Militky, J. (2016). A new method and apparatus for evaluating the electromagnetic shielding effectiveness of textiles. *Textile Research Journal*, 86(1), 44-56.
- Stefan, B., Tomasz, R., Iwona, K., Grazyna, M., Edward, R., Lech, S., . . . Katarzyna, S. (2009). textile Multi-layer Systems for Protection Against Electromagnetic Radiation. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 2(73), 66-71.
- Thomassin, J. M., Jerome, C., Pardoën, T., Bailly, C., Huynen, I., & Detrembleur, C. (2013). Polymer/carbon based composites as electromagnetic interference (EMI) shielding materials. *Materials Science and Engineering R Reports*, 74(7), 211-232.
- Volski, V., & Vandenbosch, G. A. (2009). Full-wave electromagnetic modeling of fabrics and composites. *Composites Science and Technology*, 69(2), 161-168.
- Yang, Y., Gupta, M. C., Dubley, K. L., & Lawrence, R. W. (2005). A Comparative Study of EMI Shielding Properties of Carbon Nanofiber and Multi-Walled Carbon Nanotube Filled Polymer Composites. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 5(6), 927-931.





# Comparison of DNA Extraction Protocols for PCR-based Techniques in Wheat

Özlem Ateş Sönmezoğlu<sup>1\*</sup>, Begüm Terzi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Karamanoğlu Mehmetbey University, Faculty of Engineering, Department of Bioengineering, Karaman, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3423-7095)

(İlk Geliş Tarihi 13 Kasım 2019 ve Kabul Tarihi 7 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.646491)

**ATIF/REFERENCE:** Sönmezoğlu, Ö. A. & Terzi, B. (2019). Comparison of DNA Extraction Protocols for PCR-based Techniques in Wheat. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 860-865.

## Abstract

Molecular biology and genetic studies requires high quality DNA isolated from plants. Therefore, isolation of pure and high quality DNA in a short time is important. However, since different plants have different chemical composition, in even close species need specific genomic DNA isolation protocol. There are a large number of protocols for wheat. Therefore, which method is more applicable, safer and easier should be determined. For this purpose three DNA extraction protocols were used. The DNA samples extracted from these protocols were compared for their purity and concentrations. The quality and amount of DNA obtained was determined by NanoDrop Microvolume Spectrophotometer (A260/280 absorbance) and agarose gel electrophoresis. Additionally DNAs extracted were amplified by polymerase chain reactions (PCR) and the suitability of isolated DNAs for PCR reactions were also determined. The results show that with the CTAB DNA extraction methods were extracted the highest DNA concentrations in wheat (*Triticum aestivum* L.) compared to other protocols.

**Keywords:** DNA isolation, Wheat, PCR, SSR, CTAB.

## Buğdayda PCR'a Dayalı Teknikler için DNA Ekstraksiyon Protokollerinin Karşılaştırılması

### Öz

Moleküler biyoloji ve genetik çalışmalar, bitkilerden izole edilmiş yüksek kaliteli DNA gerektirir. Bu nedenle, saf ve yüksek kalitede DNA'nın kısa sürede izolasyonu önemlidir. Bununla birlikte, farklı bitkiler farklı kimyasal bileşime sahip olduklarından, yakın türlerde bile spesifik genomik DNA izolasyon protokolüne ihtiyaç vardır. Buğday için çok sayıda protokol vardır. Bu nedenle, hangi yöntemin daha uygulanabilir, daha güvenli ve daha kolay olduğu belirlenmelidir. Bu amaçla üç DNA ekstraksiyonu protokolü kullanılmıştır. Bu protokollerden elde edilen DNA örneklerinin saflıkları ve konsantrasyonları karşılaştırılmıştır. Elde edilen DNA'nın kalitesi ve miktarı NanoDrop mikro-hacim spektrofotometre (A260/280 absorbans) ve agaroz jel elektroforezi ile belirlenmiştir. Ayrıca, ekstrakte edilen DNA'lar polimeraz zincir reaksiyonları (PCR) ile amplifiye edilmiş ve izole edilmiş DNA'ların PCR reaksiyonları için uygunluğu da belirlenmiştir. Sonuçlar buğdayda (*Triticum aestivum* L.) diğer protokollere kıyasla CTAB DNA ekstraksiyon yöntemi ile en yüksek DNA konsantrasyonlarının elde edildiğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** DNA izolasyonu, Buğday, PCR, SSR, CTAB.

\* Corresponding Author: Karamanoğlu Mehmetbey University, Faculty of Engineering, Department of Bioengineering, Karaman, Turkey, ORCID: 0000-0002-3423-7095, [ozlemsonmezoglu@kmu.edu.tr](mailto:ozlemsonmezoglu@kmu.edu.tr)

## 1. Introduction

Plant DNA isolation is a basic requirement for molecular plant breeding, genetic engineering and genome characterization. The degree of quality and purity required of DNA extracted varies to application. High quality DNA is required for molecular analysis of plants. The requested quality of DNA is essential for the success of the molecular study. The selection of genomic DNA isolation method depends on what the applications of the DNA after isolation. Different methods are available to isolate DNA from plants. The purity, source, quantity and quality of DNA should be considered before genomic DNA extraction. DNA can be isolated a short time is important. Success of the DNA isolation is measured by quality and usefulness of obtained DNA.

High-resolution genetic mapping, map-based cloning of genes, or marker-assisted mapping used for selection of agronomically important properties are required DNA isolation of large number of plants in a short period. Therefore, one of the most important factors that restrict marker-assisted selection in wheat is the DNA isolation of large populations. Polymerase chain reaction (PCR) based SSR markers provide more intraspecific polymorphism in wheat than RFLP method (Plaschke et al 1995, Röder et al 1995). There are a large number of specific DNA isolation protocols for plant species. However, these protocols are different in terms of labour, time and cost. Some extracted DNA contains the remains of different substances. Thus, PCR also effected negatively. DNA extraction protocols successfully applied to many different plant species available (Dilworth and Frey 2000, Doyle and Doyle 1987, Paris and Carter 2000). A most of the studies in wheat molecular biology are need to do selection by PCR in plant samples (Chai et al 2006).

DNA isolation is more difficult in cereal crops, because of the non-cellulose components in the leaf cell wall and the high starch and protein ratio. Thus it is very necessary to establish a rapid, simple and efficient DNA isolation protocol in wheat. However, these protocols must be optimized prior to their application. Researchers often modify a protocol from different protocols to obtain desired quality DNA (Varma et al 2007).

The purpose of this study was to compare the relative efficacy of three DNA extraction methods and one of them commercial DNA extraction kit. Although these methods any kit have been tested separately by different researchers on various biological samples, this study further extends the knowledge by direct comparison and application to PCR. Obtaining high quality DNA depends on the type of chemicals and the isolation protocols used.

## 2. Material and Method

### 2.1. Plant material

Fresh leaf issue of wheat (*Triticum aestivum* L.) grown under greenhouse conditions was used for this study. For the extraction of DNA, the first two leaves of wheat seedlings of two weeks were used in equivalent amounts (100-150 mg). Leaf samples were ground into powder using liquid nitrogen.

### 2.2. DNA extraction

#### 2.2.1. CTAB extraction

Genomic DNA was isolated from leaf samples for the CTAB based method with some modifications according to Doyle and Doyle 1987. The sample was mixed with CTAB buffer (2% CTAB 20 g CTAB/L, 20 mM EDTA, 100 mM Tris-HCl pH 8.0, 1.4 M NaCl, 0.2% Mercaptoethanol) and was vortexed after adding one unit of proteinase K to each sample. 10% SDS added then the samples were incubated for 60 min at 60°C, after the incubation 1 U (20 mg/ml) proteinase K was added to the mixed. Added equal volume of chloroform/isoamylalcohol (24:1), mixed for about 15 min, then the samples were subjected to centrifugation at 16.000 xg for 10 min and supernatants were transferred to new centrifuge tubes. Precipitated DNA with 2/3 volume of cold isopropanol centrifuged at 10.000 xg for 20 min. Supernatants were discarded, pellets were dried at room temperature and added 1X TE buffer, then leave overnight at 4°C. The samples were incubated for 3 h at 65 °C and 20 µL RNase A (10 mg/mL) was added then incubated 1 h again. For extra pure isolation, added 400 µl chloroform/isoamylalcohol, and after centrifuged 10.000 xg for 10 min. The upper phase was transferred to new tube that was containing 100 µl of 1.2 M NaCl. Sample mix was mixed with 0.6 volume of isopropanol and centrifuged at 20.000 xg for 10 min. The supernatant was discarded, and the pellet was dried then washed carefully with 500 µl of 70% ethanol without damaging the pellet. The DNA was then dissolved in 100 µl of water. This method lasted 6 hours for a total of 2 days with the extra purification step for 10 samples.

#### 2.2.2. Rapid salt-extraction

This method was modified based on the rapid salt DNA extraction of reported by Aljanabi and Martinez (1997). About 100-150 µg fresh leaf tissue was used these method and it were homogenized with 400 µL sterile homogenization salt buffer (0.4 M NaCl, 10 mM Tris-HCl pH 8.0 and 2 mM EDTA pH 8.0). 80 µl of 10% SDS (2% final concentration) and 20 mg/ml proteinase K were added to the milled sample tubes and it were mixed well. Sample tubes were incubated at 60 °C for 2 hours, then 350 µl of 5 M NaCl was added, and vortexed 30 s at 20.000 xg. The samples were centrifuged for 30 min at 10.000 g and the supernatant was taken to fresh clean tubes. Equal volume of isopropanol was added to each sample and it were mixed well then incubate at -20 °C. The

centrifugation step was repeated at 10.000 g for 20 min at 4°C. The pellet was washed with 70% ethanol then allowed to dry. DNA was suspended with 100 µl of ddH<sub>2</sub>O. The modified rapid salt DNA extraction method was lasted 3 h for 10 wheat leaf samples.

### 2.2.3. Plant genomic DNA isolation kit

The Thermo Scientific GeneJET Plant Genomic DNA isolation kit, commercially developed for the isolation of genomic DNA from tissues of various plants species, was used for wheat leaf samples in this study. Wheat DNA was isolated using a plant genomic DNA isolation kit according to the manufacturer's instructions. This DNA isolation kit uses silica based membrane technology in the form of a suitable spin column. In this extraction procedure, buffer conditions were prepared to remove carbohydrates, phenolic compounds and other plant metabolites. Silica based membrane design has been developed to provide adsorption of genomic DNA. In this method of isolation, the time for 10 samples is about 1-1.5 hours.

### 2.3. Spectrophotometric analyses

In the calculation of the purity (A<sub>260</sub>/A<sub>280</sub>), (A<sub>60</sub>/A<sub>230</sub>) of genomic DNA samples, DeNovix NanoDrop Microvolume Spectrophotometer and 2 µl DNA was used of each sample.

### 2.4. Agarose gel electrophoresis

DNA was visualized in 1% agarose gel electrophoresis (agarose, for molecular biology, SIGMA, gels for genomic and amplified DNA). For electrophoresis 1X Tris-Borate EDTA (TBE) buffer and 10 mg / mL Ethidium bromide (EtBr) were used. A constant voltage of 100 V was applied to the samples for 1 hour. ChemiDoc MPI imaging system (Bio-Rad Laboratories Inc., Germany) was used to visualize DNA bands in agarose gel electrophoresis.

### 2.5. PCR amplification

In the last decade, SSR (microsatellite) markers play an increasing role in genetic and molecular studies (Yadav and Chand 2018). Randomly selected SSR markers known to be associated with drought in wheat were randomly selected from the previously reported SSR markers (Somers et al 2004, Sönmezoğlu and Terzi 2018). The sequences of the SSR marker used in the study are F-CGATACAAGGAAGACCAGCC and R-GGTTCGTCTGGTTCGCAAGT. For the SSR markers used, the DNA amplification reaction was performed in a total volume of 25 µl. For the PCR reaction mix, 10X *Taq* Buffer (2.5 µl), 2 µl of 10 mM dNTP mixture, 2 µl of MgCl<sub>2</sub>, 0.5 µl forward primer, 0.5 µl of reverse primer, 0.5 units of *Taq* polymerase (Thermo Fisher USA) and 3 µl template DNA were used then the volume was completed to 25 µl. PCR thermal cycling conditions were initial denaturation at 94 °C for 5 min, followed by 37 cycles of denaturing at 94 °C for 30 s, annealing at 58 °C for 30 s, extension at 72 °C for 45 s, with a final extension at 72 °C for 6 min. The amplified products were separated on 2% agarose gels and in 1X TBE buffer, electrophoresis was applied at 100 watt constant power for hours and DNA fragments were visualized under UV transilluminator using ChemiDoc MP Imaging system.

## 3. Results and Discussion

CTAB-based methods have been first introduced for extraction of DNA from plant leaves (Murray and Thompson 1980, Doyle and Doyle 1987). These methods were then modified to remove other impurities such as polysaccharides and phenolic compounds found in plant tissues (Sahu et al 2002, Khalik et al 2002, Abdel-Latif and Osman 2017). Several different DNA extraction methods used require long incubations, multiple precipitation steps, and ethanol washes to produce high purity genomic DNA, although PCR amplification is effective in isolating appropriate DNA. These additional applications reduce the overall yield and result in failure in the production of large amounts of high quality DNA.

Because mature plant leaves contain higher amounts of polysaccharide and polyphenols, it is the first choice of young and fresh leaves of the plant to obtain better quality DNA (Sahu et al 2002). In this study, DNA from fresh leaf of wheat was extracted with three different methods. Quality analyzes for each extracted DNA sample were made by agarose gel images and NanoDrop Microvolume measurements. 260/280 ratio gives information about the purity and quality of DNA. For a quality DNA extraction, this ratio is expected to be the closest value to 1.8. A ratio of 1.8 is a degree of DNA showing high purity in the absence of protein and phenolic compounds. As this ratio approaches 2, RNA contamination is found. For each method, experiments were carried out with the same samples, three replications were used and all samples were suspended in the last extraction step with water. Table 1 summarizes the DNA quality and purity range obtained for all samples using three extraction methods. It was determined that 260/280 ratio changed between 1.64 and 2.03 and the 260/230 ratio changed between 1.12 and 2.28.

**Table 1.** Comparison of DNA concentration and purity extracted with different methods

Extraction Protocol	Concentration of DNA (ng/ µl)	A <sub>260</sub> /A <sub>280</sub>	A <sub>260</sub> /A <sub>230</sub>
<i>CTAB Extraction Method</i>	120.1 – 247.9	1.87 – 1.82	1.89 – 2.22
<i>Rapid Salt-Extraction Method</i>	190.4 – 333.5	1.64 – 2.03	1.12 – 2.01
<i>Plant Genomic DNA Isolation Kit (Thermo)</i>	77.1 – 117. 2	1.70 – 1.82	1.28 – 1.74

260/280 ratio was determined in the CTAB extraction method in the optimum purity range (1.82 - 1.87). For salt extraction method, values higher than 1.8 are generally obtained (1.89 - 2.03). The 260/280 ratio between 1.93 and 2.27 is the level of contamination at the insignificant levels resulting from protein and polysaccharides (Pervaiz et al 2015). In the commercial kit extraction method, this ratio is at least 1.70 and the highest 1.82 range shows the optimum DNA purity rate and a small amount of protein contamination. A purity ratio of  $> 1.9$  indicates the presence of RNA in the sample, while a ratio of  $< 1.7$  in several DNA samples extracted by the commercial kit method indicates the presence of proteins in these samples (Abdel-Latif and Osman 2017).

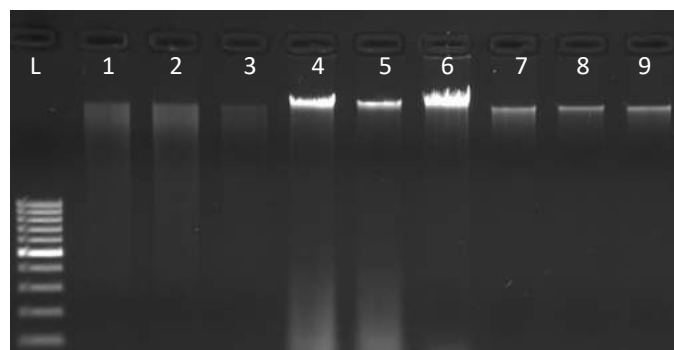
Cristina et al (2017) were tested four DNA isolation methods (SDS1, SDS2, SDS3 and CTAB) for wheat, barley and rye samples in their study. The DNA quality was determined by gel electrophoresis, PCR reactions and spectrophotometric measurements. They also used SSR and ISSR markers in PCR reactions for with the genotypic studies. Their results showed that, a A260/280 ratio was between 1.6-1.9, and the concentrations ranged between 20-194 ng/ $\mu$ l. According to electroforetic results, SDS2 method was showed better DNA fragments but for the spectrophotometric results CTAB method had better A260/280 ratio. These results are agreement with our findings which showed that CTAB method was better A260/A280 ratio.

The 260/230 ratio is a second factor in the determination of DNA purity. High absorbance at 230 nm can result from carbohydrates and some organic solvents such as phenol. For a pure nucleic acid, 260/230 values are generally higher than 260/280 ( $\sim 1.8$ ). The expected 260/230 values for pure nucleic acid range of from 2.0 to 2.2. This rate is lower than expected indicates the presence of contaminants. In CTAB extraction method 260/230 ratio was measured between 1.89 and 2.22. These values are higher than the measured 260/280 for CTAB extraction and are in the expected range except for one sample. High amounts of  $\beta$ -mercaptoethanol have been reported to be successful in eliminating polyphenols (Khanuja et al 1999). Therefore, in the CTAB protocol, mercaptaethanol was used for high quality extraction of DNA. The addition of NaCl together with CTAB in high concentrations is known to be effective in removing polysaccharides in plant tissue (Moreira and Oliveira 2011). For rapid salt and commercial kit extraction method, 260/230 is generally less than 2, except for a few samples. According to these results, although differences used in the extraction method and the phenolic chemicals, there are phenol residues or carbohydrate pollution at the nucleic acid concentration in rapid salt and commercial kit methods.

The degree of purity alone is not sufficient for successful DNA amplification, as well as the concentration values, need consideration (Abouseadaa et al 2015). As indicated in Table 1, the DNA concentration values are sufficient for each of the three extraction methods and the highest values for the two extraction methods belong to the salt extraction method (333.5 - 190.43 ng/ $\mu$ l). The lowest concentration values in the three extraction methods belong to the commercial kit DNA extraction (77.1 - 117.2 ng/ $\mu$ l).

If the comparison of all three methods time; with the extra purification step CTAB DNA extraction method has lasted 5 to 6 h, rapid salt DNA extraction method 3 h, and isolation of commercial DNA extraction kit took  $\sim 1$  h for about 10 samples.

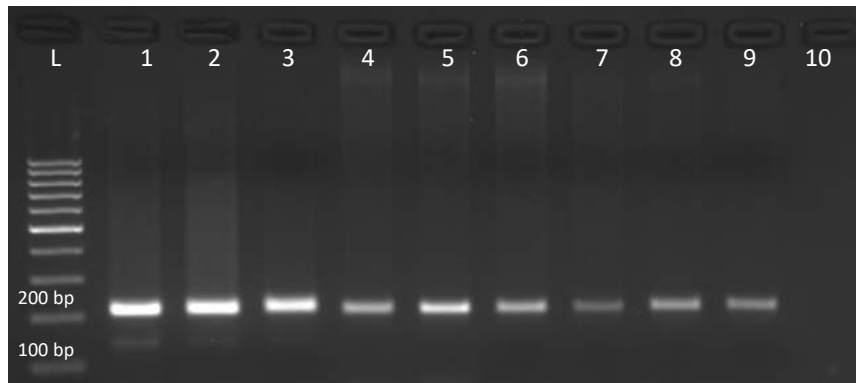
Agarose gel electrophoresis found in almost all molecular biology laboratories is an effective and inexpensive way of separating nucleic acids (Lee et al 2012). DNA samples obtained from three different DNA isolates were visualized in 1% agarose gel electrophoresis. According to the DNA samples shown in Figure 1, high molecular weight, clear and single DNA bands were observed for all extraction methods. However, band profiles originating from protein contamination are observed in the DNA samples of the rapid salt extraction method.



**Figure 1.** Agarose gel electrophoresis of DNA extracted using different methods of extraction. L, 100 bp Ladder (Thermo); Lane 1, Lane 2, and Lane 3 shows the isolated DNA by the CTAB method described by Doyle and Doyle [4]; Line 4-6 shows rapid salt DNA extraction method described by Aljanabi and Martinez [8]; The line 7 to 9 shows the isolated DNA by GeneJET Plant Genomic DNA isolation kit respectively.

For PCR methods, the DNA should be of sufficient quality and concentration (Sönmezoğlu and Keskin 2015). The results of PCR amplification of genomic DNA isolated from wheat using three different extraction methods show in Figure 2. According to the agarose gel image obtained by PCR reaction, the most bright and dense bands were belong to the CTAB reaction and the bands, while the lowest density and clarity were DNA samples of commercial kit isolation. This is because the concentrations of DNA samples of the CTAB reaction are higher than the kit extraction method. Nevertheless, in the SSR study, clean PCR bands were observed for all

three DNA extraction methods according to the known base pair range (~200 bp) of the genetic marker used. No inhibition of *Taq* DNA polymerase activity was observed in any isolation protocol for the PCR reaction.



**Figure 2.** Agarose gel electrophoresis of PCR products of wheat DNA samples extracted with different methods. CTAB extraction method (lines 1-3), Rapid salt DNA extraction method (lines 4-6), and commercial DNA extraction method (lines 7-9). Line 10, Negative control; Line L, marker 100 bp DNA Ladder (Thermo).

## 4. Conclusions and Recommendations

In this study, three different DNA isolation protocols which can be used efficiently in SSR based PCR reaction in wheat were compared. Among the isolation protocols used in the study, the modified CTAB method was found to be effective in obtaining better quality DNA. Although the highest value in terms of DNA quality belongs to the CTAB method, no contamination was found in the PCR performed with commercial kit and rapid salt extraction and also clean and desired band profiles were obtained. It is important to obtain DNA of appropriate quality for PCR and other molecular techniques in a short time in breeding studies involving marker assisted selection methods, in particular where large species populations are used. For this purpose, the commercial kit DNA extraction method is more advantageous in that it allows more DNA isolation in a shorter time. The salt DNA extraction method is advantageous in that it allows for a safer and less costly genomic DNA extraction by eliminating the use of expensive liquid nitrogen and environmentally hazardous phenol. However, in this study, lower quality DNA was obtained with salt protocol than other methods. For this reason, it may be advisable to add extra purification steps for obtaining high quality DNA.

## References

- Abdel-Latif, A., & Osman, G. (2017). Comparison of three genomic DNA extraction methods to obtain high DNA quality from maize. *Plant Methods*, 13(1), 1.
- Abouseadaa, H. H., Osman, G. H., Ramadan, A. M., Hassanein, S. E., Abdelsattar, M. T., Morsy, Y. B., & Gad, A. A. (2015). Development of transgenic wheat (*Triticum aestivum* L.) expressing avidin gene conferring resistance to stored product insects. *BMC plant biology*, 15(1), 183.
- Aljanabi, S. M., & Martinez, I. (1997). Universal and rapid salt-extraction of high quality genomic DNA for PCR-based techniques. *Nucleic acids research*, 25(22), 4692-4693.
- Chai, J. F., Liu, X., & Jia, J. Z. (2006). A rapid isolation method of wheat DNA suitable for PCR analysis. *Journal of Plant Genetic Resources*, 7(2), 246-248.
- Cristina, D., Ciuca, M., & Cornea, C. P. (2017). Comparison of four genomic DNA isolation methods from single dry seed of wheat, barley and rye. *AgroLife Scientific Journal*, 6(1), 84-91.
- Dilworth, E., & Frey, J. E. (2000). A rapid method for high throughput DNA extraction from plant material for PCR amplification. *Plant Molecular Biology Reporter*, 18(1), 61-64.
- Doyle J.J., & Doyle J. L. (1987). A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue, *Phytochem. Bull.*, 9, 11-15.
- Kadry, A. K., Gamal, O., & Waeil, A. A. (2012). Genetic diversity and taxonomic relationships of some Ipomoea species based on analysis of RAPD-PCR and SDS-PAGE of seed proteins. *Australian Journal of Crop Science*, 6(6), 1088.
- Khanuja, S. P., Shasany, A. K., Darokar, M. P., & Kumar, S. (1999). Rapid isolation of DNA from dry and fresh samples of plants producing large amounts of secondary metabolites and essential oils. *Plant Molecular Biology Reporter*, 17(1), 74-74.
- Lee, P. Y., Costumbrado, J., Hsu, C. Y., Kim, Y. H. (2012). Agarose gel electrophoresis for the separation of DNA fragments. *Journal of Visualized Experiments*, (62), 3923.
- Moreira, P. A., & Oliveira, D. A. (2011). Leaf age affects the quality of DNA extracted from *Dimorphandra mollis* (Fabaceae), a tropical tree species from the Cerrado region of Brazil. *Genetics and Molecular Research*, 10(1), 353-358.



- Murray, M. G., & Thompson, W. F. (1980). Rapid isolation of high molecular weight plant DNA. *Nucleic acids research*, 8(19), 4321-4326.
- Paris, M., & Carter, M. (2000). Cereal DNA: a rapid high-throughput extraction method for marker assisted selection. *Plant Molecular Biology Reporter*, 18(4), 357-360.
- Plaschke, J., Ganal, M. W., & Röder, M. S. (1995). Detection of genetic diversity in closely related bread wheat using microsatellite markers. *Theoretical and Applied Genetics*, 91(6-7), 1001-1007.
- Pervaiz, Z. H., Turi, N. A., Khaliq, I., Rabbani, M. A., & Malik, S. A. (2011). Methodology: a modified method for high-quality DNA extraction for molecular analysis in cereal plants. *Genetics and molecular research: GMR*, 10(3), 1669-1673.
- Röder, M. S., Plaschke, J., König, S. U., Börner, A., Sorrells, M. E., Tanksley, S. D., & Ganal, M. W. (1995). Abundance, variability and chromosomal location of microsatellites in wheat. *Molecular and General Genetics MGG*, 246(3), 327-333.
- Sahu, S. K., Thangaraj, M., & Kathiresan, K. (2012). DNA extraction protocol for plants with high levels of secondary metabolites and polysaccharides without using liquid nitrogen and phenol. *ISRN Molecular Biology*, 2012.
- Somers, D. J., Isaac, P., & Edwards, K. (2004). A high-density microsatellite consensus map for bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 109(6), 1105-1114.
- Sönmezoğlu, Ö. A., & Keskin, H. (2015). Determination of genetically modified corn and soy in processed food products. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*, 3, 32-37.
- Sönmezoğlu, Ö. A., & Terzi, B. (2018). Characterization of some bread wheat genotypes using molecular markers for drought tolerance. *Physiology and molecular biology of plants*, 24(1), 159-166.
- Varma, A., Padh, H., & Shrivastava, N. (2007). Plant genomic DNA isolation: an art or a science. *Biotechnology Journal: Healthcare Nutrition Technology*, 2(3), 386-392.
- Yadav, M. K., & Chand, P. (2018). Assessment of Genetic Diversity among Twenty Indian Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars using Simple Sequence Repeat (SSR) Markers. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 7(3), 1708-1717.



# **Bipolar Membran Elektrodializiyle Simüle Atıksu Çözeltilerinden KOH ve HCl Üretimini Etkileyen Parametrelerin Belirlenmesi İçin Kesirli Faktöriyel Tasarım Uygulaması**

Said Rajab Abdullahi<sup>1</sup>, Muhammed Raşit Öner<sup>2</sup>, Osman Nuri Ata<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6228-3841)

<sup>2</sup> Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3376-7024)

<sup>3\*</sup> Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4742-0734)

(İlk Geliş Tarihi 14 Kasım 2019 ve Kabul Tarihi 7 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.646850)

**ATIF/REFERENCE:** Abdullahi, S. R., Öner, M. R. & Ata, O. N. (2019). Bipolar Membran Elektrodializiyle Simüle Atıksu Çözeltilerinden KOH ve HCl Üretimini Etkileyen Parametrelerin Belirlenmesi İçin Kesirli Faktöriyel Tasarım Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 866-873.

## **Öz**

Bu çalışmanın amacı, kesirli faktöriyel tasarımı kullanarak bipolar membran elektrodializ ile bir simüle atık çözelti olarak hazırlanan potasyum klorür çözeltisinden potasyum hidroksit ve hidroklorik asit üretimini etkileyen önemli faktörleri belirlemektir. Deneylerde kullanılan membran hücresi asit, tuz ve baz bölmelerinden oluşmaktadır. Asit ve baz üretimini etkileyen parametreleri değerlendirmek için kesirli faktöriyel  $2^{4+1}$  tasarımı kullanılmıştır. Proses dört ana faktörün fonksiyonu olarak incelenmiştir. Bu faktörler, başlangıç asit ve baz konsantrasyonları, başlangıç tuz konsantrasyonu, akım yoğunluğu ve elektrolit konsantrasyonudur. Normal olasılık grafiği ve Pareto diyagramı, başlangıç tuz konsantrasyonunun bipolar membran elektrodializ sistemini etkileyen en önemli parametre olduğunu ortaya koydu. Sonuçlar ayrıca ana etki grafikleri ve ANOVA yöntemi kullanılarak istatistiksel olarak analiz edildi. Başlangıç tuz konsantrasyonunun en etkin parametre olduğu her iki istatistiksel bulguyla da doğrulandı.

**Anahtar Kelimeler:** Bipolar membran, Elektrodializ, Kesirli faktöriyel tasarım.

## **Fractional Factorial Design Application for the Determination of Parameters Affecting KOH and HCl Generation From Simulated Wastewater Solution By Bipolar Membrane Electrodialysis**

### **Abstract**

The aim of the study is to determine the significant factors influencing the generation of potassium hydroxide and hydrochloric acid from simulated potassium chloride solution by bipolar membrane electrodialysis using fractional factorial design. The membrane stack with acid, dilute (salt), and base compartments was used in the experiments. Fractional factorial design  $2^{4+1}$  was employed to evaluate the parameters affecting the production of base and acid. The process has been investigated as a function of four main factors namely, initial concentrations of acid and base, initial salt concentration, current density, and electrolyte concentration. Normal probability plot and Pareto charts revealed that the initial salt concentration is the most significant parameter affecting the bipolar membrane electrodialysis system performance. The results were also statistically analyzed by using the main effects plots and the ANOVA method. The significance of initial salt concentration was confirmed by both statistical findings.

**Keywords:** Bipolar membrane, Electrodialysis, Fractional factorial design.

## 1. Introduction

Sodium chloride (NaCl), potassium chloride (KCl), and bromide salts are extractable constituents from seawater. Seawater is accepted as a universal potassium source due to its  $\sim 390$  mg K<sup>+</sup>/L content (Ghara et al., 2014; Hussein, Zohdy, & Abdelkreem, 2017). There are several methods studied to recover KCl from seawater. Precipitation of KCl from naturally occurring brines and seawater is one of the most common methods (da Silva, Seckler, Rocha, Saturnino, & de Oliveira, 2017; Ghara et al., 2014; Hussein et al., 2017; Pujiastuti, Sumada, Ngatilah, & Hadi, 2016). In the Dead Sea, brine is evaporated by solar evaporation and it is extracted by the process of thermal dissolution and crystallization. KCl is generated from the Dead Sea in Israel, Jordan and Great Salt Lake in the USA (Epstein, Altaras, Feist, & Rosenzweig, 1975). In many countries, salt (NaCl) is produced from seawater and the waste brines containing KCl return to the sea. The Çamaltı is the largest sea-salt plant in Turkey and huge amounts of waste brines including approximately 30,000 tons of potash with 22.268 tons of KCl is discharged back into the sea after the removal of NaCl (Mordoğan, Ertem, Erbil, & Yamık). KCl is widely used as a raw material for the production of potassium hydroxide (KOH) (O'Brien, Bommaraju, & Hine, 2007). Since KOH is utilized for the manufacture of soap, biodiesel, batteries, fuel cells, and fertilizers, its extraction from seawater waste brines can make an important contribution to the economy of the country. At that point, KOH is mainly produced by the electrolysis of KCl solutions. However, electrolysis is a gas generated process. High operating cost, electrode requirement of each cell, and undesirable products formation are the main drawbacks of the electrolysis process (Tongwen, 2002).

Electrodialysis which is one type of electrically driven membrane process has been widely employed due to its high efficiency for the production of acid and base from the salts. Furthermore, in order to avoid the waste disposal problem, electrodialysis with a bipolar membrane (BMED) has been applied successfully for the recycling salt brines (Y. Yang, X. Gao, A. Fan, L. Fu, & C. J. J. o. m. s. Gao, 2014; Ye et al., 2015). BMED is regarded as one of the most promising technology and the use of BMED for the production of acid and base can allow efficient, waste free, and environmentally friendly valuable raw materials. A bipolar membrane (BM) with a layer ion-exchange structure is composed of a cation selective membrane and an anion selective membrane (Xu, 2001). BMED was first studied for the water splitting by Frilette in 1956 (Frilette, 1956). BMED was reported as an alternative technology in many industries like the recovery of residues and the production of certain chemicals (Badruzzaman, Oppenheimer, Adham, & Kumar, 2009; Fidaleo, Moresi, & research, 2006; Y. Yang, X. Gao, A. Fan, L. Fu, & C. Gao, 2014). Up to now, BMED has been applied to many areas, such as chemical and food processes, biochemical industries and environmental protection. Researchers reported that BMED has an economical potential for recovering organic acids and inorganic acids and bases for example boric acid and sodium hydroxide (Jülide Erkmen & Yapici, 2016), hydrofluoric acid and sodium hydroxide (J Erkmen et al., 2016), acetic acid and sodium hydroxide (Trivedi et al., 1997), phosphoric acid and sodium hydroxide (Trivedi, Shah, Adhikary, Rangarajan, & Polymers, 1999) citric acid and sodium hydroxide (Tongwen, Weihua, & Intensification, 2002). As a result, BMED is an effective alkali production technique without the generation of oxygen and hydrogen as by products (Jülide Erkmen & Yapici, 2016; J Erkmen et al., 2016; Tongwen, 2002; Tongwen et al., 2002).

In the light of the given literature, the production of KOH and HCl from the simulated KCl solutions by BMED process was investigated in this study. The design of experiments is used to identify the significant and insignificant factors which affect the performance of the BMED process. A fractional factorial design was used to determine the impact of factors with a small number of experiments. Eight experiments were proposed by using 2<sup>4+1</sup> fractional factorial design to determine the significant factors influencing the acid and base production performance of BMED. The factors are defined as the initial concentration of acid and base, initial salt concentration, current density, and electrolyte concentration. The effectiveness of these factors was evaluated by using different techniques, such as Normal probability plot of effects, Pareto chart of effects, Main effects of plot, and Analysis of variance (ANOVA).

## 2. Material and Method

### 2.1. Materials

#### Chemicals;

HCl (Hydrochloric acid 37%), KCl (Potassium chloride 99%), KOH (Potassium hydroxide 85%), NaOH (Sodium hydroxide 99%), Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Sodium sulfate 99%), phenolphthalein indicator, and methyl orange indicator are the chemicals used in the experiments. All chemicals were obtained from Merck Company.

#### Membranes;

Membranes and spacers used BMED were produced by PCCell in Germany. The electrodialysis stack with the bipolar membrane is composed of two electrodes made of titanium coated with mixed metal oxide (MMO). Anion exchange membrane, cation exchange membrane, bipolar membrane, and electrodialysis spacer are installed according to the order of bipolar membrane (BM)-cation exchange membrane (CEM)-anion exchange membrane (AEM)-bipolar membrane (BM). The spacer thickness between two membranes is 0.5 mm and the membrane size is 11 cm × 11 cm. The active surface area of each membrane is equal to 64 cm<sup>2</sup>. The main characteristics of ion exchange membranes are shown in Table 1.

Table 1. The main characteristics of ion exchange membranes

Membrane	Thickness (µm)	Water content (%)	Area resistance (Ωcm <sup>2</sup> )	Transport number (%)	Water splitting voltage %
BM (PC BP)	200-350			>0.95	0.8-1
CEM (PC SK-ED)	160-200	9	2,5	>0.95	
AEM (PC Acid 60)	160-200	7	2	>0.95	

2.2. Method

The BMED system configuration consists of the repeated BM-CEM-AEM-BM units. As seen in Figure 1, an electrolyte dilute solution (MX) is introduced into the feed compartment limited by the CEM and the AEM. The acid compartment is located between BM and AEM, while the base compartment is between BM and CEM. Water splitting is carried out inside a bipolar membrane (BM) by using the DC power supply. Protons (H<sup>+</sup>) and hydroxyl ions (OH<sup>-</sup>) formed during the process move towards the cathode and anode, respectively. Similar to H<sup>+</sup> and OH<sup>-</sup> transfer, the applied voltage also initiates the transition of both cations (M<sup>+</sup>) crossing to CEM and anions (X<sup>-</sup>) crossing to AEM to the related electrodes. During the ion transfer, MOH formation in the base compartment and HX formation in the acid compartment take place. Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> is used electrode rinsing solution.

The conversion from the dissolved ions to acid and base was shown in the following reactions:

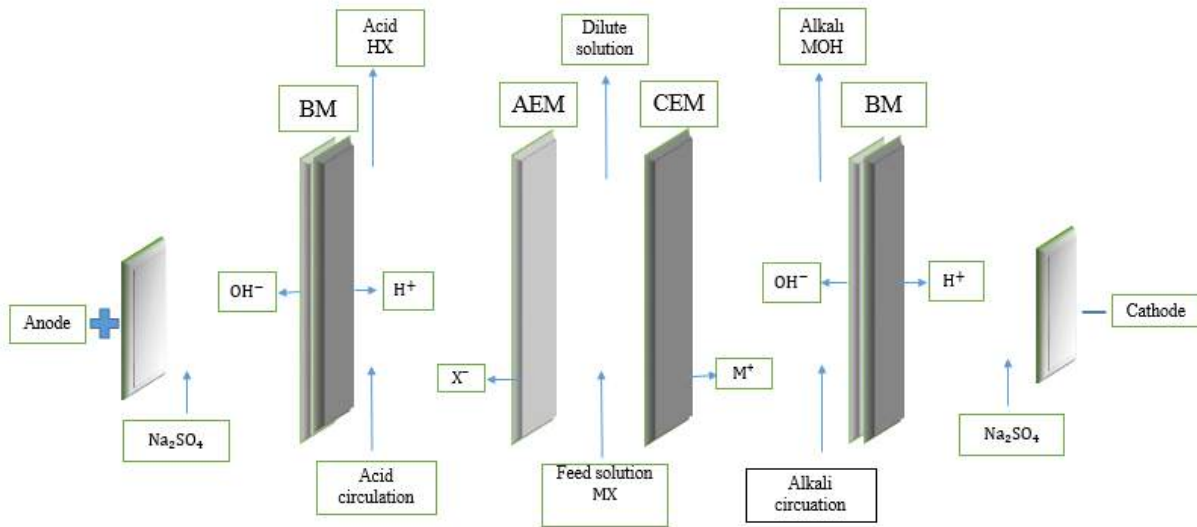
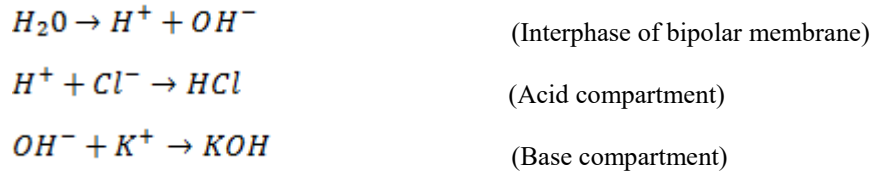


Figure 1. Configuration of BMED stack. BPM: Bipolar membrane, AEM: Anion exchange membrane, CEM: Cation exchange membrane, X<sup>-</sup>: Cl<sup>-</sup> ion; M<sup>+</sup>: K<sup>+</sup> ion

2.3. Laboratory scale experiments

In this study, the electro dialysis system used in the lab-scale is PCCell ED 64-004 stack with three compartment units. There are five cell triplets in the stack and each cell contains a dilute, an acid, a base compartments, and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution as electrode rising. Since every cell trio needs the voltage drop of 1.5V and 6V for the water splitting in BM membranes, the maximum voltage was estimated as 16V by taking into considerations of possible losses (Ghyselbrecht et al., 2014). The process was carried out at 25°C and solutions were circulated at flow rate of 15 L/h. During the BMED process, the pH value and temperatures of dilute and base solutions were measured, regularly. The concentrations of KOH and HCl produced by BMED were determined by titration with standardized of NaOH and HCl solutions in the presence of methyl orange and phenolphthalein as indicators, respectively.

The performance criteria is the molar amount of acid and base produced for the BMED process and it is calculated by using the following equation:

$$C = M.V \tag{1}$$

M: Molarity of acid and base (mol/L)      V<sub>i</sub>: Volume of acid or base (L)

### 2.4. Fractional factorial design of experiments

In order to obtain the significant factors affecting acid and base generation by BMED, the fractional factorial design was carried out. The factorial design applied by Fisher (1935) for the first time was employed to estimate both the main effects and interaction between the factors. It is widely used in engineering and industrial applications to study the relationship between two or more variables. The factorial design consists of full factorial and fractional factorial. The fractional factorial is partial number of a full factorial design. When the number of factors is too high, the fractional factorial design is preferred. The fractional factorial design allows to define the significant factors by a minimum number of experiments. In addition to economical, it can test the difference between various levels of each factor and the interactions between the factors (Chang, Teng, & Ismail, 2011; Gunst & Mason, 2009; Montgomery, 2017).

A fractional factorial design is used to decrease the number of experiments. In this work, initial concentration of acid and base, initial concentration of salt, current density and electrolyte concentration were employed as factors for a fractional factorial design. A minitab<sup>18</sup> software program was used to arrange the experimental design and fractional factorial design in n<sup>k-q</sup> consisting of number of levels (n), number of factors (k), and generators (q). The total number of experiments needed for the investigation is 2<sup>4-1</sup> for four factors. In Table 2, the factors of fractional factorial design, their codes, and their high and low levels are defined.

Table 2. Experimental factors and levels

Factors	Coded symbol	Level (-1)	Level (+1)
Initial concentration of Acid and Base (mol/L)	A	0.05	0.1
Initial concentration of Salt (g/L)	B	20	90
Current density (A/cm <sup>2</sup> )	C	0.031	0.078
Electrolyte concentration (mol/L)	D	0.05	0.1

Table 3 shows the screening approach to find the significant factors affecting the responses. In Table 3, ‘-1’ and ‘+1’ represent two levels of each factor in the matrix, while Y1 and Y2 are the response variables of base concentration and acid concentration, respectively.

The regression equation with four factors and their interactions is defined by Akhnavarovsa and Katarov (Kleijnen, 2015).

$$Y = b_0 + b_1A + b_2B + b_3C + b_4D + b_{12}AB + b_{13}AC + b_{14}AD + b_{23}BC + b_{24}BD + b_{34}CD + b_{45}DE \tag{2}$$

In Equation 2, b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub> and b<sub>4</sub> are the linear coefficients, while b<sub>12</sub>, b<sub>13</sub>, b<sub>14</sub>, b<sub>23</sub>, b<sub>24</sub>, b<sub>34</sub> and b<sub>45</sub>, are the second order intersection terms. Additionally, A, B, C, and D are the dimensionless coded factors of the parameters studied. The sequence in which these trials are carried out is randomized.

Table 3. Parameters in their reduced and normal forms

Experiment	Blocks	A	B	C	D	(Y <sub>1</sub> )	(Y <sub>2</sub> )
1	1	-1	-1	-1	-1	0.250	0.253
2	1	1	-1	-1	1	0.268	0.255
3	1	-1	1	-1	1	0.960	1.090
4	1	1	1	-1	-1	1.033	1.107
5	1	-1	-1	1	1	0.296	0.301
6	1	1	-1	1	-1	0.303	0.312
7	1	-1	1	1	-1	1.031	1.084
8	1	1	1	1	1	1.038	1.163

The data presented in Table 3 is employed to prepare the Normal probability plot, Pareto chart, Main effects plot, and ANOVA table. The experiments are analyzed to determine the significant factors.



### 3. Results and discussion

The aim of the study is to determine the effects of factors on the performance of producing potassium hydroxide (KOH) and hydrochloric acid (HCl) by the BMED system, statistically. In order to define the effects of four factors and their interactions, normal probability plot, Pareto chart, and main effects plot were formed by using fractional factorial design. ANOVA table was also used to verify the findings of fractional factorial design.

#### 3.1 Normal probability plot of effects

The normal probability plot of the effects was prepared by the Minitab<sup>18</sup> program to specify which effects are important. In Figure 2, the effects of factors (A, B, C, and D) and their interactions (AB, AC, and AD) were evaluated together. The effects normally distributed with mean zero and falling to the same line represent the insignificant effects, while the important effects are located far from this line [25]. As seen in Figure 1a and 1b, the most important factor affecting the performance is the salt concentration coded B.

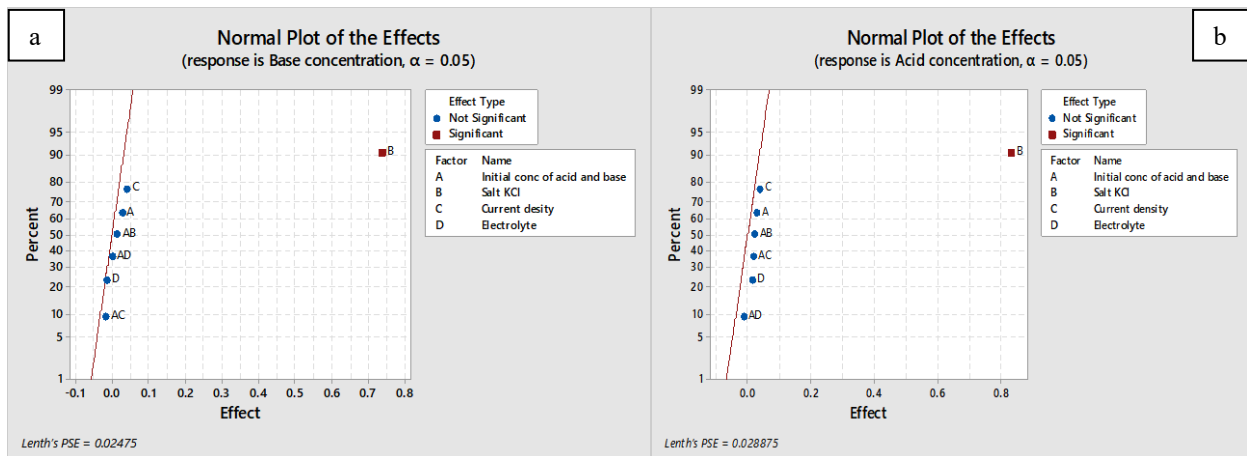


Figure 2. Normal probability plot of the effects for  $Y_1$  (a) and  $Y_2$  (b)

#### 3.2 Pareto chart of the effects

The results obtained from the Normal probability plot of the effects were also confirmed by a Pareto chart as shown in Figure 3 (a and b). The vertical line in the Pareto chart is the reference line showing statistically the minimum degree of significance for  $\alpha=0.05$ , while the horizontal column size proportional to the degree of significance for each effect. Any effects or interactions exceeding the vertical line are considered as significant (Antony, 2014). The Pareto chart of the effects also exhibits that factor B has the highest significance.

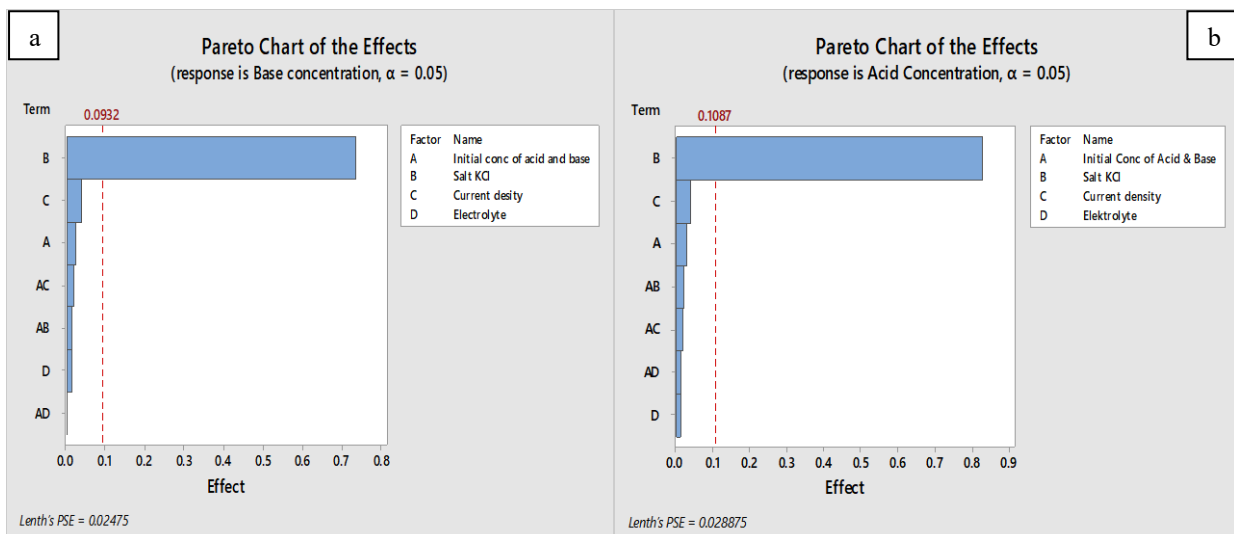


Figure 3. Pareto chart of the effects for  $Y_1$  (a) and  $Y_2$  (b)

### 3.3 Main effects Plot

The main effects plots indicate all effects behavior in Figure 4 (a and b). Main effect plot uses to determine the significant and insignificant factors. According to the main effect plot, the factor is considered as significant when the difference between the response values at the low level and the high level of a factor is high (El-Taweel & Haridy, 2014). In Figure 4, base and acid concentrations are evaluated with respect to four factors. When the effects of factors are compared, the most distinctive behavior is observed for the factor of initial salt concentration. The similar response of the initial salt concentration factor for both base and acid concentrations reveals that initial salt concentration is the most important factor affecting the performance of the BMED system. This result also confirms the findings obtained from Normal probability plot of effects and Pareto chart of the effects. The straight lines obtained for the other main effects in Figure 4 show no effect of factors on the performance of the BMED system.

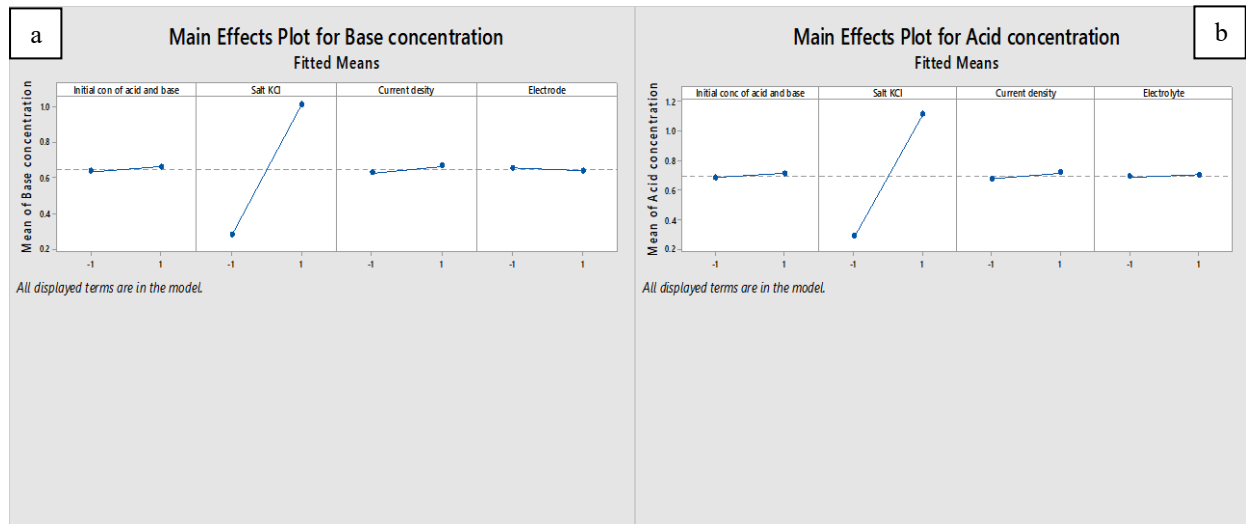


Figure 4. Main effects plots for  $Y_1$  (a) and  $Y_2$  (b)

### 3.4 Regression model analysis

Minitab<sup>18</sup> software program was used to examine the significance of each individual regression coefficient. According to the findings obtained from fractional factorial design, a reduced regression model was produced. Regression equations of  $Y_1$  (base concentration) and  $Y_2$  (acid concentration) can be written as follows;

Regression Equation for  $Y_1$

$$Y_1 = 0.6474 + 0.01313A + 0.3681B + 0.01963C - 0.006875D + 0.006875AB - 0.009625AC - 0.000625AD \quad (3)$$

( $R^2=100\%$ )

Regression Equation for  $Y_2$

$$Y_2 = 0.6956 + 0.01362A + 0.4154B + 0.01938C + 0.006625D + 0.01038AB + 0.008875AC - 0.006875AD \quad (4)$$

( $R^2=100\%$ )

As shown in Equation (3) and (4), the estimated effects and regression coefficients of Normal probability plot and Pareto chart can be obtained. Factors with positive signs in equations are proportional to the measured responses. Therefore, initial salt concentration coded B having the biggest coefficient with a positive sign indicates its strongest effect on  $Y_1$  and  $Y_2$ .

### 3.5 Analysis of Variance

The analysis of variance (ANOVA) was employed to determine the significant factors affecting the performance characteristics. F values are used to check the statistical significance of the regression equation, while the significance of each coefficient is examined by the p-values (Hamzaoui, Jamoussi, & M'nif, 2008). Table 4 indicates the analysis of variance findings. In the table, the first three columns show the degrees of freedom (DF), sum of squares (SS), and mean squares (MS), respectively. F-value and p-value are located in the last two columns in Table 4. Mean squares are the sum of squares divided by degrees of freedom. F value is the ratio of mean square error (MS) to the residual error (Ata, Kanca, Demir, & Yigit, 2017). F value for 95% of confidence level, 1 of DF and 8 of factorial tests (F 0.05, 1, 7) is equal to 5.59 (Sharp, 2012). When the model is source, the F-values are 1091.45 and 1234.47 for  $Y_1$  and  $Y_2$

$Y_2$ , respectively, while the p-values are 0.00 for both. The smaller p-values show the more significance of the corresponding variables. Furthermore, P values close to zero imply the effects with high significance (Chérif et al., 2016). Since all effects with both F values higher than 5.59 and P values close to zero are significant, the initial concentration of acid and base (A), current density (C), and electrolyte concentration (D) are not significant factors in the performance of BMED system. As a result, F-values and p-values verify that initial salt concentration is the most statistically significant factor for the BMED system.

Table 4. Analysis of variance (ANOVA) at 95% confidence level for  $Y_1$  and  $Y_2$  obtained by fractional factorial regression

Response $Y_1$ : Base Concentration						Response $Y_2$ : Base Concentration					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	1	108.413	108.413	1091.45	0.000	Model	1	138.029	138.029	1234.47	0.000
Linear	1	108.413	108.413	1091.45	0.000	Linear	1	138.029	138.029	1234.47	0.000
B	1	108.413	108.413	1091.45	0.000	B	1	138.029	138.029	1234.47	0.000
Error	6	0.00596	0.00099			Error	6	0.00671	0.00112		
Total	7	109.009				Total	7	1.387			

### 3.6 Effect of initial salt concentration on KOH and HCl production

The results of the normal probability plot, Pareto chart, and the main effects plot indicate that initial salt concentration has the highest effect on the performance of the BMED system. Since the higher KCl concentration can decrease the electrical resistance in the salt compartment, processing time and voltage drop can increase with increasing initial KCl concentration (Wei et al., 2012; Ye et al., 2015).

The results in Table 3 show that the higher initial concentration of KCl is a favor for the production of acid and base with higher concentrations by BMED. Moreover, acid and base concentrations produced at the beginning of the experiment is higher than at the end of the experiment. The decrease in concentration gradient can be considered as the main reason for the decrease in acid and base yields. Additionally, water electricity penetration in the KCl compartment can be responsible for the time dependent decrease in acid and base production. Migration of water ions ( $H^+$  and  $OH^-$ ) from feed tank under electrical field leads to an increase in volume or decrease in concentrations of acid and base tanks (Li et al., 2016).

## 4. Conclusion

Bipolar membrane electro dialysis experiments were performed to produce KOH and HCl from simulated KCl by the BMED system. Initial acid and base concentrations, initial salt concentration, current density, and electrolyte concentration were defined as the factors affecting the acid and base production yield. In order to define the effects of four factors and their interactions, normal probability plot, Pareto chart, and main effects plot were formed by using fractional factorial design. The Normal probability plot and Pareto chart reveal that the most significant factor is the initial salt concentration. Addition to the main effects plot, F-values and p-values obtained from ANOVA verify the accuracy of Normal probability plot and Pareto chart for the BMED system. Therefore, the fractional factorial design can be applied for the statistical analysis of BMED systems.

## 5. Acknowledgement

We thank Dr. Arzu Kanca from AtatürkUniversity for the contribution to the manuscript.

## References

- Antony, J. (2014). *Design of experiments for engineers and scientists*: Elsevier.
- Ata, O. N., Kanca, A., Demir, Z., & Yigit, V. (2017). Optimization of ammonia removal from aqueous solution by microwave-assisted air stripping. *Water, Air, & Soil Pollution*, 228(11), 448.
- Badruzzaman, M., Oppenheimer, J., Adham, S., & Kumar, M. J. J. o. M. S. (2009). Innovative beneficial reuse of reverse osmosis concentrate using bipolar membrane electro dialysis and electrochlorination processes. 326(2), 392-399.
- Chang, S. H., Teng, T. T., & Ismail, N. (2011). Screening of factors influencing Cu (II) extraction by soybean oil-based organic solvents using fractional factorial design. *Journal of environmental management*, 92(10), 2580-2585.
- Chérif, M., Mkacher, I., Dammak, L., Ben Salah, A., Walha, K., Nikonenko, V., . . . Grande, D. (2016). Fractional factorial design of water desalination by neutralization dialysis process: concentration, flow rate, and volume effects. *Desalination and Water Treatment*, 57(31), 14403-14413.
- da Silva, R. G., Seckler, M., Rocha, S. D. F., Saturnino, D., & de Oliveira, É. D. (2017). Thermodynamic modeling of phases equilibrium in aqueous systems to recover potassium chloride from natural brines. *Journal of Materials Research and Technology*, 6(1), 57-64.
- El-Taweel, T., & Haridy, S. (2014). An application of fractional factorial design in wire electrochemical turning process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 75(5-8), 1207-1218.

- Epstein, J., Altaras, D., Feist, E., & Rosenzweig, J. (1975). The recovery of potassium chloride from Dead Sea brines by precipitation and solvent extraction. *Hydrometallurgy*, 1(1), 39-50.
- Erkmen, J., & Yapıcı, S. (2016). A environmentally friendly process for boric acid and sodium hydroxide production from borax; bipolar membrane electrodialysis. *Desalination and Water Treatment*, 57(43), 20261-20269.
- Erkmen, J., Yapıcı, S., Arzuğ, M., Aydın, Ö., Ata, O., Öner, M. J. D., & Treatment, W. (2016). Hydrofluoric acid and sodium hydroxide production by bipolar membrane electrodialysis. 57(43), 20254-20260.
- Fidaleo, M., Moresi, M. J. A. i. f., & research, n. (2006). Electrodialysis applications in the food industry. 51, 265-360.
- Frilette, V. J. J. T. J. o. P. C. (1956). Preparation and characterization of bipolar ion exchange membranes. 60(4), 435-439.
- Ghara, K. K., Korat, N., Bhalodia, D., Solanki, J., Maiti, P., & Ghosh, P. K. (2014). Production of pure potassium salts directly from sea bittern employing tartaric acid as a benign and recyclable K<sup>+</sup> precipitant. *RSC Advances*, 4(65), 34706-34711.
- Ghyselbrecht, K., Silva, A., Van der Bruggen, B., Boussu, K., Meesschaert, B., & Pinoy, L. J. J. o. e. m. (2014). Desalination feasibility study of an industrial NaCl stream by bipolar membrane electrodialysis. 140, 69-75.
- Gunst, R. F., & Mason, R. L. (2009). Fractional factorial design. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 1(2), 234-244.
- Hamzaoui, A. H., Jamoussi, B., & M'nif, A. (2008). Lithium recovery from highly concentrated solutions: Response surface methodology (RSM) process parameters optimization. *Hydrometallurgy*, 90(1), 1-7.
- Hussein, A., Zohdy, K., & Abdelkreem, M. (2017). seawater bittern a precursor for magnesium chloride separation: Discussion and assessment of case studies. *International Journal of Waste Resources*, 7(1), 1-6.
- Kleijnen, J. P. (2015). *Design and analysis of simulation experiments*. Paper presented at the International Workshop on Simulation.
- Li, Y., Shi, S., Cao, H., Wu, X., Zhao, Z., & Wang, L. (2016). Bipolar membrane electrodialysis for generation of hydrochloric acid and ammonia from simulated ammonium chloride wastewater. *Water research*, 89, 201-209.
- Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments*: John Wiley & sons.
- Mordoğan, H., Ertem, M., Erbil, Ö., & Yamık, A. Çamaltı Tuzlası Artık Çözeltilerinin Değerlendirme Olanakları.
- O'Brien, T. F., Bommaraju, T. V., & Hine, F. (2007). *Handbook of Chlor-Alkali Technology: Volume I: Fundamentals, Volume II: Brine Treatment and Cell Operation, Volume III: Facility Design and Product Handling, Volume IV: Operations, Volume V: Corrosion, Environmental Issues, and Future Developments* (Vol. 1): Springer Science & Business Media.
- Pujiastuti, C., Sumada, K., Ngatilah, Y., & Hadi, P. (2016). *Removal of Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> Ions from Seawater by Precipitation Method*. Paper presented at the Matec Web of Conferences.
- Sharp, C. (2012). Statistics for people who (think they) hate statistics [Book Review]. *Evaluation Journal of Australasia*, 12(1), 42.
- Tongwen, X. (2002). Electrodialysis processes with bipolar membranes (EDBM) in environmental protection—a review. *Resources, conservation and recycling*, 37(1), 1-22.
- Tongwen, X., Weihua, Y. J. C. E., & Intensification, P. P. (2002). Citric acid production by electrodialysis with bipolar membranes. 41(6), 519-524.
- Trivedi, G., Shah, B., Adhikary, S., Indusekhar, V., Rangarajan, R. J. R., & Polymers, F. (1997). Studies on bipolar membranes. Part II—Conversion of sodium acetate to acetic acid and sodium hydroxide. 32(2), 209-215.
- Trivedi, G., Shah, B., Adhikary, S., Rangarajan, R. J. R., & Polymers, F. (1999). Studies on bipolar membranes: Part III: conversion of sodium phosphate to phosphoric acid and sodium hydroxide. 39(1), 91-97.
- Wei, Y., Li, C., Wang, Y., Zhang, X., Li, Q., & Xu, T. (2012). Regenerating sodium hydroxide from the spent caustic by bipolar membrane electrodialysis (BMED). *Separation and purification technology*, 86, 49-54.
- Xu, T. J. D. (2001). Development of bipolar membrane-based processes. 140(3), 247-258.
- Yang, Y., Gao, X., Fan, A., Fu, L., & Gao, C. (2014). An innovative beneficial reuse of seawater concentrate using bipolar membrane electrodialysis. *Journal of Membrane Science*, 449, 119-126.
- Yang, Y., Gao, X., Fan, A., Fu, L., & Gao, C. J. J. o. m. s. (2014). An innovative beneficial reuse of seawater concentrate using bipolar membrane electrodialysis. 449, 119-126.
- Ye, W., Huang, J., Lin, J., Zhang, X., Shen, J., Luis, P., & Van der Bruggen, B. (2015). Environmental evaluation of bipolar membrane electrodialysis for NaOH production from wastewater: conditioning NaOH as a CO<sub>2</sub> absorbent. *Separation and purification technology*, 144, 206-214.



# Yerli *Dunaliella salina* suşunda Büyüme ve Pigment Üretimi için Optimal Koşulların Merkezi Kompozit Tasarım Yöntemi Kullanılarak Belirlenmesi

Arzu Yıldırım<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9836-3181)

(İlk Geliş Tarihi 7 Kasım 2019 ve Kabul Tarihi 7 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.649157)

**ATIF/REFERENCE:** Yıldırım, A. (2019). Yerli *Dunaliella salina* suşunda Büyüme ve Pigment Üretimi için Optimal Koşulların Merkezi Kompozit Tasarım Yöntemi Kullanılarak Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 874-880.

## Öz

Mikroalgler, sahip oldukları protein, lipid ve renkli pigmentler gibi doğal bileşikler sebebi ile biyoteknolojik uygulamalarda geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Yeşil algler sınıfına dahil olan ve yüksek tuz toleransı gösterebilen *Dunaliella salina* türü, doğal bir beta-karoten kaynağı olması sebebi ile biyoteknolojik üretimlerde öne çıkan mikroalg türleri arasındadır. Yüksek tuzluluk, yüksek sıcaklık, yoğun ışık miktarı ya da besin kıtlığı gibi stres koşulları altında *D. salina* hücrelerinde beta-karoten birikimi gerçekleşmekte, ancak bu durum hücre büyümesini olumsuz etkilemektedir. Bu sebeple genellikle hazırlanan kültürlerde önce hücre büyümesinin teşvik edildiği, ardından stres koşulu uygulanarak pigment üretiminin artırıldığı iki fazlı üretim sistemi benimsenmiştir. Bu çalışmada yerel kaynaklardan izole edilen bir *D. salina* suşu için merkezi kompozit tasarım yönteminden faydalanılarak biyokütle artışı ve hücre içi karotenoid birikimini, iki fazlı üretime gerek olmaksızın, eş zamanlı olarak teşvik edecek ortam koşullarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Hücre içinde karotenoid birikimine sebep olan iki ortam bileşeni; tuz (NaCl) ve nitrat (KNO<sub>3</sub>), deney tasarımı için kullanılacak faktörler olarak seçilmiştir. Faktörlerin üç farklı düzeyinde gerçekleştirilen denemeler sonucunda ortamdaki tuz miktarının hem biyokütle artışı hem de karotenoid birikimi açısından birincil etmen olduğu belirlenmiştir. *D. salina* hücreleri için 1,75 M NaCl ve 1,2 mM KNO<sub>3</sub> içeren kültür ortamında biyokütle, ve paralel olarak hücre içi pigment miktarının artışı için optimum koşul olarak belirlenmiştir. Karotenoid birikimi, tuz konsantrasyonu açısından önemli ölçüde etkilenirken, kullanılan nitrat miktarının seçilen aralıkta daha düşük etki gösterdiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Biyokütle, Karotenoidler, Merkezi Kompozit Tasarım, *Dunaliella salina*

## Identification of Optimal Conditions for Growth and Pigment Production in indigenous *Dunaliella salina* strain Using Central Composite Design Method

### Abstract

Microalgae are widely used in biotechnological applications due to their natural compounds such as protein, lipid and colored pigments. *Dunaliella salina*, a green algae tolerant to high salt concentrations, is a natural source of beta-carotene, and therefore it is one of the microalgae species that is prominent in biotechnological productions. Beta-carotene accumulation occurs in *D. salina* cells under stress conditions such as high salinity, high temperature, intense light or nutrient scarcity, but these conditions also negatively affects the cell growth. A two-phase production system is usually applied to the cultures in which the cell growth is first promoted and then the pigment production is increased by applying the stress condition. In this study, it was aimed to determine the culture conditions that would simultaneously promote biomass growth and intracellular carotenoid accumulation without the need for two phase production by using the central composite design method for a *Dunaliella salina* strain isolated from local sources. Two media components that cause carotenoid accumulation in the cell; salt (NaCl) and nitrate (KNO<sub>3</sub>) were selected as the factors to be used for experimental design. As a result of the experiments carried out at three different levels of factors, it was determined that the amount of



salt in the medium was the primary factor in terms of both biomass increase and carotenoid accumulation. For *D. salina* cells, culture medium containing 1.75 M NaCl and 1.2 mM KNO<sub>3</sub> was determined as the optimum condition for both increasing the amount of biomass and pigment accumulation in parallel. Carotenoid deposition was significantly affected by salt concentration, while the amount of nitrate used in the media was found to have a lower effect in the selected range.

**Keywords:** Biomass, Carotenoids, Central Composite Design, *Dunaliella salina*.

## 1. Giriş

Mikroalgler, bitki benzeri protistalar grubuna dahil, çoğu tek hücreli olan, genellikle sucul ortamlarda yaşamlarını sürdüren ökaryotik, fotosentetik organizmalardır (Khan ve ark., 2018). İçerdikleri protein, lipid ve pigmentler gibi doğal bileşikler sebebi ile biyoteknoloji alanında kullanımları son yıllarda dikkat çeken konular arasındadır (Osana ve ark., 2017). Gıda ve yem amaçlı biyokütle üretiminden, biyodizel üretimi ve biyoremediasyon gibi ekolojik uygulamalara kadar pek çok alanda kullanımı olan mikroalgler, zengin biyoçeşitlilikleri sebebiyle çok çeşitli değerli bileşiğin üretimi için ümit vadeden doğal bir kaynak olarak görülmektedirler. (Pulz ve Gross, 2004).

Karotenoidler renkli pigmentler olup bitkiler, algler ve siyanobakterler gibi tüm fotosentetik canlılarda sentezlenmektedir. Yüksek antioksidan özelliğe sahip bu pigmentler genel olarak organizmaları serbest radikallere ve reaktif oksijen bileşiklerin zararlarına karşı korumaktadır (Fujisawa ve ark., 2009). Karotenoidler kozmetik ve gıda endüstrisinde doğal renklendirici olarak (Diler ve Dilek, 2002), ayrıca hayvancılıkta ve deniz kültürlerinde yem olarak da geniş bir kullanım alanına sahiptir (Del Campo ve ark., 2007).

*Dunaliella salina* tuzlu sularda yaşamını sürdürebilen, yeşil algler sınıfına dahil bir mikroalg türüdür. Ortam koşullarında oluşan yüksek sıcaklık, yüksek tuzluluk ya da belli besin maddelerinin azalması *Dunaliella* hücrelerinin strese girmesine ve hücrenin bu stres koşullarından kendini korumasına yönelik olarak hücre içinde beta-karoten üretmesine neden olmaktadır. Beta-karoten hem turuncu renkli bir pigment olması, hem de yüksek antioksidan özellikleri sebebi ile biyoteknoloji alanında ilaç, boya ve yem sanayii gibi farklı alanlarda kullanılan değerli bir üründür. Bu bakımdan *D. salina* doğal beta-karoten üretimi için kullanılan önemli kaynaklardan birini oluşturmaktadır (Jin ve Melis, 2003; Hosseini Tafreshi ve Shariati, 2009).

Mikroalg hücreleri içinde pigment birikimine sebep olan stres koşulları hücre çoğalmasını olumsuz etkilemektedir. Bu problemi aşmak amacı ile yapılan çalışmalarda genellikle iki fazlı üretim yöntemi benimsenmiştir; ilk olarak üretim hücre büyümesi için gerekli optimum koşullarda gerçekleştirilerek hücre artışı sağlanmakta, ardından belli yoğunluğa ulaşan kültür ortamına seçilen stres koşulu uygulanarak hücre içinde pigment üretimi teşvik edilmektedir (Guerin ve ark., 2003; Benavente-Valdés ve ark., 2016; Chen ve ark., 2018 )

Tepki Yüzevi Analizi metodu iki ya da daha fazla faktörün bir yanıt üzerine ne şekilde etki ettiğini belirlemek amacı ile kullanılan etkin bir yöntemdir. Bu yöntem ile çok sayıda deneme seti, malzeme ve zaman harcanmasına sebep olan her seferinde tek faktörün denendiği klasik uygulamalara göre daha az sayıda deneme seti ile istenilen yanıtla ulaşılmaktadır (Khuri 2017, Değirmencioglu ve Yazgı 2006). Merkezi Kompozit Tasarım metodu da bir Tepki Yüzevi Analizi yöntemi olup, belirlenen sınırlar dahilinde seçilen faktörlerin maksimum, minimum ve orta noktaları kullanılarak oluşturulan deneme setleri yolu ile faktörlerin yanıt ile ilişkisini anlamaya imkan tanımaktadır.

Kültür ortamındaki nitrat ve tuz miktarı *D. salina* hücrelerinde pigment oluşumu teşvik eden iki önemli ortam bileşenidir (Marin ve ark., 1998; Pisal ve Lele, 2005; Morowvat ve Ghasemi, 2016). Bu çalışmada Ülkemizin yerel kaynaklarından izole edilen bir *D. salina* suşunda iki fazlı üretime gerek olmaksızın, ortam bileşenlerinden tuz ve nitrat konsantrasyonlarının hücre büyümesine paralel olarak karotenoid birikimini de teşvik edebileceği optimum aralığın, Merkezi Kompozit Tasarım yöntemi kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. *Dunaliella salina* Stok Hazırlığı ve Kültür Koşulları

Çalışma materyali olarak, yerel kaynaklardan izole edilerek Ege Üniversitesi Kültür Koleksiyonu'na (EGE-MACC) dahil edilen *Dunaliella salina* suşu (EgeMacc-24) kullanılmıştır. Modifiye Johnson's ortamında kültür üretimi gerçekleştirilen (Johnson et al., 1968; Borowitzka, 1988). *D. salina* hücreleri  $\sim 7 \times 10^7$  hücre.mL<sup>-1</sup> olana kadar çoğaltılarak stok kültür olarak kullanılmıştır. Stoktan 1 mL alınarak Merkezi Kompozit Tasarım deney şeması doğrultusunda hazırlanarak 13 adet 100 mL ortam içeren erlenlere inoküle edilmiştir. Örnekler 25 °C'de 30  $\mu\text{mol.photon m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  ışık şiddetinde beyaz florasan lamba ile sürekli olarak aydınlatılan, 110 rpm hızında çalkalama gerçekleştiren bir çalkalayıcıya yerleştirilerek 7 gün boyunca büyümeleri takip edilmiştir. Ortam koşulları 7 gün boyunca sabit tutulmuş, böylelikle kültür ortamları üzerindeki tek stres koşulunun besin ortamı kompozisyonu olması sağlanmıştır.

### 2.2. Merkezi Kompozit Tasarım Deney Düzenegi ve İstatistiksel Analizler

Design Expert (version 7.0.0, Stat-Ease Inc., Minneapolis, MN) programı kullanılarak "iki faktörlü" "yüz merkezli" "Merkezi Kompozit Tasarım" metodu ile belirlenen ortam koşulları her örnek için ayrı ayrı hazırlanmıştır. Deneysel tasarım yöntemi ile, tanımlanan yüzey için minimum (-1) maksimum (+1) ve orta (0) olmak üzere her faktörün üç ayrı düzeyinin değerlendirildiği 13 ayrı deneme seti listelenmiştir (Tablo 1 ve Tablo 2). Seçilen düzlemin dışı hakkında da bilgi almaya yarayan "yıldız noktaları" deneme setine dahil edilmeyip, düzlem, faktörlerin maksimum ve minimum değerleri ile sınırlandırılmıştır. Faktörlerin, biyokütle artışı ve karotenoid birikimi üzerine anlamlı bir etkisi olup olmadığının belirlenmesi amacı ile ANOVA analizleri kullanılmıştır.

Tablo 1. Merkezi Kompozit Deneysel Tasarımı Özeti

Faktör	Madde İsmi ve Birimi	Düzye Kodları		
		-1	0	+1
A	KNO <sub>3</sub> (mM)	1,20	7,80	14,40
B	NaCl (M)	1,00	2,50	4,00

### 2.3. Biyokütle ve Karotenoid Miktar Artışlarının Belirlenmesi

#### 2.3.1. Hücre sayımı

Hücre sayılarının belirlenmesi amacı ile Neubauer hemasitometre kullanılmıştır. Her örnekten 150 µL alınarak, hareketli olan hücreleri sabitlemek amacı ile 1 µL iyodin solusyonu eklenmiştir. Sayma kamarasına yayılan örnekler Olympus CX21 ışık mikroskobu ile (Olympus Corporation, Tokyo, Japan) incelenerek sayma işlemi gerçekleştirilmiştir. Spesifik büyüme hızı (µ) ve kültürün ikilenme süresi (td) aşağıda verilen formüle göre belirlenmiştir.

$$\mu = \ln \left( \frac{N_2 - N_1}{t_2 - t_1} \right)$$

$$td = \ln \left( \frac{\ln 2}{\mu} \right)$$

Formülde; N1 ve N2, sırası ile t1 ve t2 zamanlarındaki hücre sayılarını ifade etmektedir.

#### 2.3.2. Optik Yoğunluk Ölçümleri

Biyokütle artışının optik olarak belirlenmesi amacı ile Unicam Helios alpha UV-Vis spektrofotometre kullanılarak 680 nm dalga boyunda ölçümler gerçekleştirilmiştir.

#### 2.4. Toplam Karotenoid Analizi

Toplam karotenoid miktarının belirlenmesi amacı ile pigment ekstraksiyonu gerçekleştirilmiştir. Her örnekten 2 mL alınarak 5000 rpm hızda %80 aseton içinde tekrar dağılımları sağlanan hücreler maksimum devirde 1 dakika vorteks yardımı ile çalkalanarak pigmentlerin çözünmesi sağlanmıştır. Tekrar 5000 rpm hızda 5 dakika santrifüj uygulanan örneklerin renksiz hücre pelleti ile sıvı kısımları birbirinden ayrılmıştır. Spektrofotometrik yöntem kullanılarak sıvı fazda pigment ölçümleri gerçekleştirilmiş ve Lichtenthaler ve Buschmann (2001) tarafından belirtilen formüller kullanılarak toplam karotenoid miktarı hesaplanmıştır.

#### 2.5. Kontrol Denemeleri:

Merkezi Kompozit Tasarımı yöntemi sonucu elde edilen bulgular doğrultusunda iki ortam bileşeninin iki farklı düzeyi seçilerek, bir hafta süre ile iki kültür ortamının biyokütle artışı takibi ve pigment analizleri gerçekleştirilmiştir.

## 3. Bulgular ve Tartışma

### 3.1. Merkezi Kompozit Tasarım Analizleri

Merkezi Kompozit Tasarımı kullanılarak gerçekleştirilen denemeler sonucunda elde edilen veriler Tablo 2'de özetlenmiştir. Design Expert programı kullanılarak oluşturulan deneme setleri için gerçekleştirilen ANOVA analizleri sonucunda, "Biyokütle Artışı" ve "Toplam Karotenoid Miktarı"nın belirlenmesine yönelik oluşturulan model için anlamlı sonuçlar elde edilmiştir (p<0,05). İki bağımsız değişken için oluşturulan iki modelin regresyon analizlerinden elde edilen R<sup>2</sup> değerleri sırası ile 0,80 ve 0,70 olarak belirlenmiştir. Biyokütle artışı için quadratik bir eğilim gözlenirken, karotenoid miktarının daha çok lineer bir yapıda olduğu görülmektedir.

### 3.2. Seçilen Faktörlerin Biyokütle Artışı ve Toplam Karotenoid Miktarına Etkisi

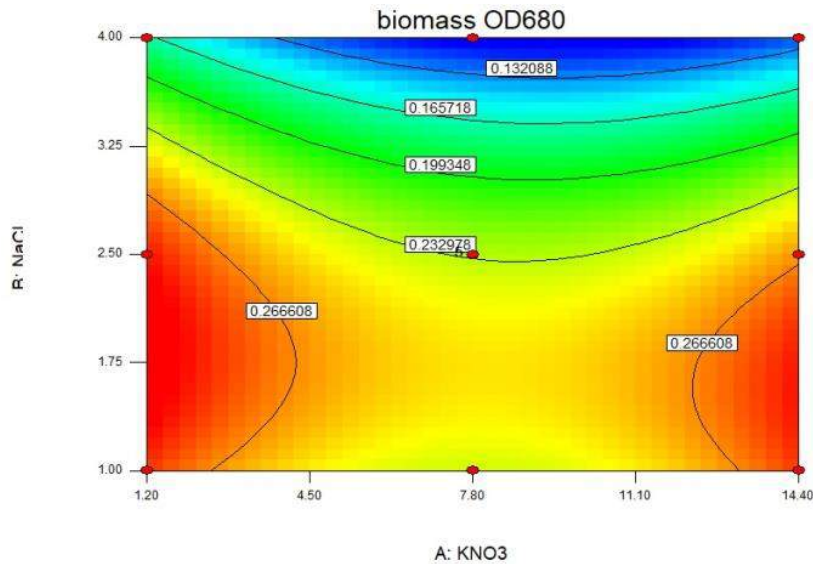
Biyokütle artışı ve karotenoid birikimine etkileri incelenmek üzere seçilen tuz (NaCl) ve nitrat (KNO<sub>3</sub>) bileşenleri içerisinde, tuz miktarının her iki yanıt için de daha etkin bir faktör olduğu belirlenmiştir. Tuz miktarının 2,5 M ve daha altı konsantrasyonda kullanılmasının biyokütle artışını teşvik ettiği gözlenmiş, ancak 2,5 M üzerinde bir tuzluluk oranının biyokütle artışını ve buna paralel olarak birim hacimdeki karotenoid birikimini olumsuz etkilediği görülmüştür (Şekil 1 ve 2).

Ortamdaki tuz ve nitrat bileşenleri arasında belirgin bir interaksiyon gözlenmemişse de düşük nitrat konsantrasyonlarında (1,2 mM) tuz toleransının 3 M'ın üzerine çıkabildiği görülmüştür. 2,5 M tuz konsantrasyonunun daha altındaki değerler için ortamdaki nitrat miktarının biyokütle artışını ve karotenoid birikimini farklı şekillerde etkilediği belirlenmiştir. Aynı tuzluluk seviyesinde nitratın düşük ve yüksek konsantrasyonları biyokütle artışını teşvik ederken (Şekil 1), karotenoid miktarı kısmen eşit kalmakla birlikte nitrat konsantrasyonunun artması doğrultusunda azalma eğilimi göstermektedir (Şekil 2).

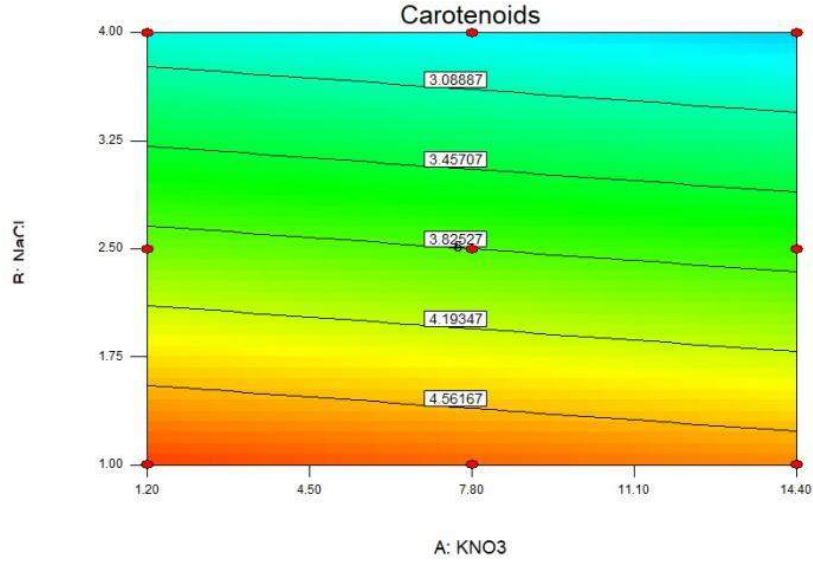
Genel olarak *D. salina* türleri 0,05 M ile 5,5 M arasında değişen tuz konsantrasyonlarını tolere edebilmektedirler (Chen ve Jiang 2009). Daha önce, Türkiye'de Tuz Gölü'nden izole edilen bir *Dunaliella sp.* suşu için yapılan denemelerde en yüksek hücre konsantrasyonu ve beta-caroten birikiminin %20'lik tuz konsantrasyonunda (yaklaşık 3,5 M) elde edildiği bildirilmektedir (Çelekli ve Dönmez 2006). Ancak genel olarak yüksek oranda tuz toleransı gösterebilen *D. salina* suşları için optimum tuz konsantrasyonu 100-150 g L<sup>-1</sup> (yaklaşık 1,5-2,5 M) olarak ifade edilmektedir (Oren 2014). Çalışmamızda, seçilen en düşük nitrat konsantrasyonu için EgeMacc-24 *D. salina* suşunun 3,5 M tuz konsantrasyonlarına tolerans gösterdiği, ancak optimum biyokütle artışının 1,5-2,5 M arasında gerçekleştiği belirlenmiştir.

Tablo 2. Merkezi Kompozit Deneysel Tasarımı Özeti

Deneme Seti No	KNO <sub>3</sub> mM	NaCl M	Biyokütle Artışı OD680	Toplam Karotenoid Miktarı µg/mL
1	14,4	1	0,285	4,631
2	7,8	2,5	0,196	3,608
3	14,4	4	0,103	2,054
4	7,8	4	0,132	2,696
5	1,2	1	0,293	5,033
6	1,2	2,5	0,288	3,620
7	14,4	2,5	0,278	4,043
8	7,8	1	0,223	3,790
9	7,8	2,5	0,289	5,143
10	7,8	2,5	0,196	4,091
11	7,8	2,5	0,265	4,656
12	1,2	4	0,157	2,715
13	7,8	2,5	0,197	3,649



Şekil 1: Seçilen yüzey aralıklarında, tuz ve nitrat konsantrasyonlarının biyokütle artışına etkisi



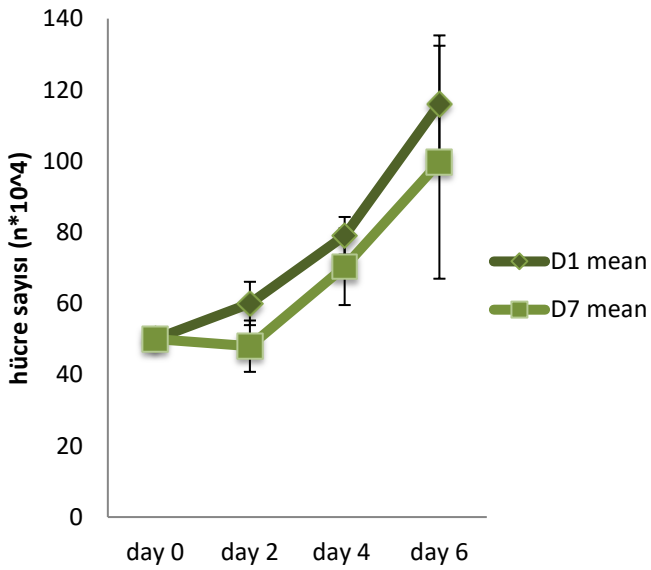
Şekil 2: Seçilen yüzey aralıklarında, tuz ve nitrat konsantrasyonlarının karotenoid birikimine etkisi

### 3.3. Kontrol Denemeleri

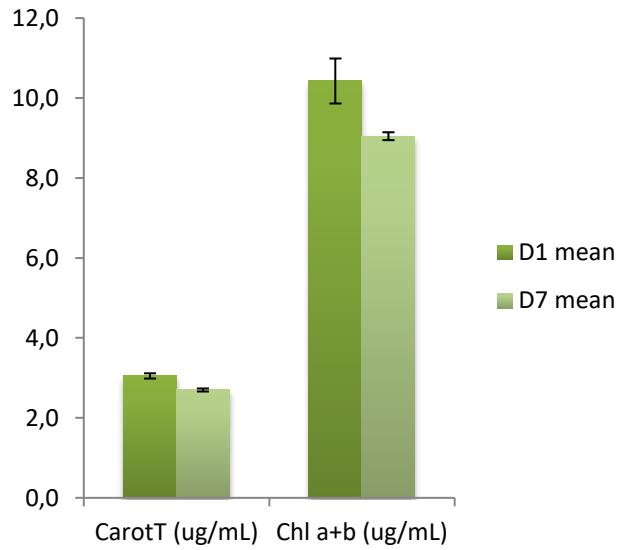
Biyokütle ve karotenoid birikiminin aynı ortamda eş zamanlı olarak teşvik edilmesine yönelik optimum tuz ve nitrat seviyelerinin belirlenmesi amacı doğrultusunda, merkezi kompozit tasarım metodunda elde edilen veriler ışığında iki farklı yüzey noktası seçilerek kontrol denemeleri gerçekleştirilmiştir. Tablo 3'de D1 ve D7 olarak belirtilen ortamlar hazırlanarak *D. salina* hücreleri 1 hafta süre ile kültüre edilerek, hücre sayımları ve karotenoid analizleri gerçekleştirilmiş ve kültürlerin ikilenme süreleri hesaplanmıştır.

Tablo 3: Kontrol ortamlarında kullanılan ortam bileşenleri ve ikilenme süreleri (td)

	KNO3 (mM)	NaCl (M)	td(gün)
<b>D1</b>	1,2	1,75	3,61
<b>D7</b>	7,8	1,5	3,98



Grafik 1: D1 ve D7 ortamlarında geliştirilen kültürler için mL'deki hücre sayısı artışı



Grafik 2: D1 ve D7 ortamlarında geliştirilen kültürler için mL'deki karotenoid ve klorofil miktar artışı

Kontrol denemeleri sonucunda elde edilen veriler Grafik 1 ve 2'de özetlenmiştir. Seçilen iki ortam karşılaştırıldığında, her iki özellik için de birbirine yakın değer elde edilmiş olmasına rağmen, 1,2 mM KNO<sub>3</sub> ve 1,75 M NaCl içeren D1 ortamının, hem biyokütle artışı hem de karotenoid birikimi açısından daha olumlu sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

#### 4. Sonuç

*Dunaliella salina*, doğal beta-karoten kaynağı olması sebebi ile yeşil mikroalg türleri içerisinde ayrı bir öneme sahiptir. Hücrenin potansiyelinden maksimum seviyede faydalanmak açısından hem kültürün gelişim hızı, hem de hücrenin pigment üretim miktarı, üretimi etkileyebilecek önemli iki unsur olarak öne çıkmaktadır.

Ortam parametrelerinin istenilen kültür özelliklerine etkisini incelemek üzere klasik olarak uygulanan deneme setleri yerine, yüzey analiz yöntemleri kullanılarak yapılan taramalar, hem uygulanacak deney sayısı hem de deney için harcanacak malzeme ve zaman açısından avantaj sağlamaktadır.

Bir yüzey analiz yöntemi olan Merkezi Kompozit Tasarım Metodu kullanılarak gerçekleştirilen denemeler sonucunda yerel kaynaklardan elde edilen bir *D. salina* suşu için iki önemli ortam bileşeninin biyokütle artışı ve pigment birikimine etkisi incelenmiş ve 1,75 M NaCl ve 1,2 mM KNO<sub>3</sub> kullanılan kültür ortamında her iki özelliğin paralel olarak teşvik edildiği belirlenmiştir. İncelenen iki ortam bileşeninin seçilen aralıkları için ortamdaki tuz miktarının, ortama eklenen potasyum miktarından daha etkili olduğu gözlenmiştir. Belirlenen değerlerde hazırlanan kültür ortamı kullanılarak geliştirilen *D. salina* kültüründe üretim sisteminin değiştirilmesine veya ikincil bir stres koşulu uygulanmasına gerek olmaksızın etkin karotenoid üretiminin sağlanacağı düşünülmektedir.

#### Kaynakça

- Benavente-Valdés J.R., Aguilar C., Contreras-Esquivel J.C., Méndez-Zavala A., Montañez A., (2016). Strategies to enhance the production of photosynthetic pigments and lipids in chlorophyceae species. *Biotechnology Reports*, 10: 117-125 DOI: [10.1016/j.btre.2016.04.001](https://doi.org/10.1016/j.btre.2016.04.001)
- Borowitzka, M. A. (1988). Algal growth media and sources of cultures, In: Borowitzka M.A. ve Borowitzka L.J. (eds.), *Micro-algal Biotechnology*. Cambridge University Press: Cambridge. pp. 456-465, <https://doi.org/10.1002/jctb.280470214>
- Borowitzka M.A. (1988). Vitamins and fine chemicals. In: Borowitzka M.A. ve Borowitzka L.J. (eds), *Micro-algal Biotechnology*. Cambridge University Press, Cambridge, 153-196. <https://doi.org/10.1002/jctb.280470214>
- Chen C.Y., Lu I.C., Nagarajan D., Chang C.H., Ng I.S., Lee D.J., Chang J.S. (2018). A highly efficient two-stage cultivation strategy for lutein production using heterotrophic culture of *Chlorella sorokiniana* MB-1-M12. *Bioresource Technology*, Volume 253: 141-147. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.01.027>
- Chen H. ve Jiang J.G., (2009). Osmotic responses of *Dunaliella* to the changes of salinity. *J Cell Physiol*. 219(2):251-8. DOI: [10.1002/jcp.21715](https://doi.org/10.1002/jcp.21715)
- Çelekli A. ve Dönmez G. (2006). Effect of pH, light intensity, salt and nitrogen concentrations on growth and b-carotene accumulation by a new isolate of *Dunaliella* sp. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*. 22: 183–189. DOI: [10.1007/s11274-005-9017-0](https://doi.org/10.1007/s11274-005-9017-0)
- Değirmencioğlu A. ve Yazgı A. (2006). Tepki Yüzeyleri Metodolojisi "Optimizasyon Esaslı Çalışmalara İlişkin Teorik Esaslar ve Tarımsal Mekanizasyon Uygulamaları" . *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi* 2(2): 111-115.
- Del Campo J.A., Garcia-Gonzales M., Guerrero M.G. (2007). Outdoor cultivation of microalgae for carotenoid production: current state and perspectives. *Appl Microbiol Biotechnol* 74: 1163-1174. DOI: [10.1007/s00253-007-0844-9](https://doi.org/10.1007/s00253-007-0844-9)
- Diler, İ., Dilek, K., (2002). Significance of Pigmentation and Use in Aquaculture. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 2: 97-99
- Fujisawa, M., Takita, E., Harada, H., Sakurai, N., Suzuki, H., Ohyama, K., Shibata, D., Misawa, N., (2009). Pathway engineering of *Brassica napus* seeds using multiple key enzyme genes involved in ketocarotenoid formation. *J Exp Bot*, 60(4):1319-32. DOI: [10.1093/jxb/erp006](https://doi.org/10.1093/jxb/erp006).
- Guerin M., Huntley M.E., Olaizola M. (2003). Haematococcus astaxanthin: applications for human health and nutrition. *Trends Biotechnol*. 21:210–216. [https://doi.org/10.1016/S0167-7799\(03\)00078-7](https://doi.org/10.1016/S0167-7799(03)00078-7)
- Hosseini Tafreshi A. ve Shariati M. (2009). *Dunaliella* biotechnology: methods and applications. *Journal of Applied Microbiology*, 107: 14–35. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2009.04153.x>
- Jin E.S. ve Melis A. (2003). Microalgal Biotechnology: Carotenoid production by the green algae *Dunaliella salina*. *Biotechnology and Bioengineering*. 8: 331-337. DOI: [10.1007/BF02949276](https://doi.org/10.1007/BF02949276)
- Johnson, M.K., Johnson, E.J, Mac Elroy, R.D., Speer, H.L. and Bruff, B.S. (1968). Effects of salts on the halophilic alga *Dunaliella viridis*. *J. Bacteriology* 95: 1461-1468.
- Khan M.I., Shin J.H., Kim J.D. (2018). The promising future of microalgae: current status, challenges, and optimization of a sustainable and renewable industry for biofuels, feed, and other products. *Microb. Cell Fact.* 17:36 <https://doi.org/10.1186/s12934-018-0879-x>
- Khuri A.I., (2017). A General Overview of Response Surface Methodology. *Biom Biostat Int J* 5(3): 00133. DOI: [10.15406/bbij.2017.05.00133](https://doi.org/10.15406/bbij.2017.05.00133)



- Lichtenthaler HK, Buschmann C (2001). Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy. In: Current Protocols in Food Analytical Chemistry. New York, NY, USA: John Wiley and Sons, Inc. F4.3.1-F4.3.8. <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01>
- Marin N., Morales F., Lodeiros C., Tamigneaux E. (1998). Effect of nitrate concentration on growth and pigment synthesis of *Dunaliella salina* cultivated under low illumination and preadapted to different salinities. *Journal of Applied Phycology* 10: 405–411, 1998. DOI: [10.1023/A:1008017928651](https://doi.org/10.1023/A:1008017928651)
- Morowvat M.H. ve Ghasemi Y. (2016). Culture medium optimization for enhanced  $\beta$ -carotene and biomass production by *Dunaliella salina* in mixotrophic culture *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 7: 217–223. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2016.06.008>
- Oren A., (2014). The ecology of *Dunaliella* in high-salt environments. *Journal of Biological Research-Thessaloniki* , 21:23, DOI: [10.1186/s40709-014-0023-y](https://doi.org/10.1186/s40709-014-0023-y)
- Osanai T., Park Y.I., Yuki Nakamura Y. (2017). Editorial: Biotechnology of Microalgae, Based on Molecular Biology and Biochemistry of Eukaryotic Algae and Cyanobacteria. *Front. Microbiol.* 8:118. DOI: [10.3389/fmicb.2017.00118](https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00118)
- Pisal D.S. ve Lele S.S. (2005). Carotenoid production from microalga, *Dunaliella salina*. *Indian Journal of Biotechnology* 4: 476-483.
- Pulz, O. ve Gross, W., (2004). Valuable products from biotechnology of microalgae. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 65(6): 635-648. DOI: [10.1007/s00253-004-1647-x](https://doi.org/10.1007/s00253-004-1647-x)



# Çift Yoğunluklu 1-D Dalgacık Dönüşümü Kullanılarak Parkinson Hastalığının Yaş Faktörüne Göre Tespit Edilmesi

Cüneyt Yücelbaş<sup>1\*</sup>, Şule Yücelbaş<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Hakkari Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Hakkari, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4005-6557)

<sup>2</sup>Hakkari Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Hakkari, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6758-8502)

(İlk Geliş Tarihi 10 Kasım 2019 ve Kabul Tarihi 7 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.649480)

**ATIF/REFERENCE:** Yücelbaş, C., & Yücelbaş, Ş. (2019). Çift Yoğunluklu 1-D Dalgacık Dönüşümü Kullanılarak Parkinson Hastalığının Yaş Faktörüne Göre Tespit Edilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 881-887.

## Öz

Parkinson, hareketi etkileyen nörolojik bir sinir sistemi rahatsızlığıdır. Parkinson gibi sinir hücreleriyle yakından ilgisi olan bir hastalığın yürüme verileriyle tespit edilebilmesi muhtemeldir. Günümüzde birçok hastalığa ait belirtiler çok erken yaşlarda ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu nedenle bütün hastalıklar için yaş faktörüne göre gerçekleştirilen analiz çalışmaları önem kazanmıştır. Bu sebeple bu çalışmada Çift Yoğunluklu 1-D Dalgacık Dönüşümü (ÇY1DDD) kullanılarak deneklerden elde edilen verilerin yaş faktörüne göre analiz edilmesi ve Parkinson hastalığının (PH) yüksek doğrulukla tespit edilmesi amaçlanmıştır. Kullanılan veri seti genç, yetişkin ve yetişkin hasta olmak üzere 15 denekten alınan yürüyüş verilerinden oluşmaktadır. Kaydedilen veriler üzerinde öncelikle ÇY1DDD yöntemi üç seviye olarak uygulanmış ve yaklaşım (YK) ile detay katsayıları (DK) elde edilmiştir. Daha sonra yaş faktörüne göre elde edilen son seviye YK verilerinden 10 adet özellik çıkarılmıştır. Çıkarılan bu özellikler sağlıklı genç-yetişkin hasta ve sağlıklı yetişkin-yetişkin hasta olmak üzere ikili sınıflar şeklinde 4 farklı karar mekanizmasına verilmiştir. Elde edilen sonuçlar birçok istatistiksel metrikle yorumlanmıştır. Uzman sistemler sayesinde anlamlı sonuçlara ulaşılmış ve genç-sağlıklı verilerinin yetişkin-hasta verilerinden daha düşük hata değerleri ve %100 sınıflama doğruluğu (SD) oranı ile ayrılabilirdiği görülmüştür. Karar mekanizmaları arasında ise sifra en yakın hata değerleriyle yapay sinir ağları (YSA), her iki sınıf için de başarısını kanıtlamıştır. Literatürde her ne kadar bu alanda yapılan çalışmalar bulunsun bile, yaş faktörünün PH üzerindeki etkisinin ayrıntılı analizine yeterli derecede yer verilmemesi bu çalışmanın önemini arttırmıştır. Bunun yanında kullanılan etkin özelliklerden bazılarının PH'nin uzman sistemler tarafından otomatik tespit edildiği çalışma alanında daha önce kullanılmamış olması, çalışmanın literatüre katkısını önemli ölçüde desteklemektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Parkinson, yürüyüş sinyali analizi, Çift Yoğunluklu 1-D Dalgacık Dönüşümü, yaş faktörü

## Detection of Parkinson's disease according to age factor using Double Density 1-D Wavelet Transform

### Abstract

Parkinson's is a neurological nervous system disorder that affects movement. A disease that is closely related to nerve cells such as Parkinson's is likely to be detected using gait data. Nowadays, symptoms of many diseases start to appear at a very early age. For this reason, analysis studies performed according to age factor for all diseases have gained importance. Therefore, in this study, it was aimed to analyze the data obtained from the subjects according to the age factor by using Double Density 1-D Wavelet Transform (DD1DWT) and to detect Parkinson's disease (PD) with high accuracy. The data set consists of gait data from 15 subjects, young, adult and adult patients. Firstly, DD1DWT method was applied to data in three levels and, the approximation (CA) and detail (CD)

\*Sorumlu Yazar: Hakkari Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Hakkari, Türkiye, ORCID: 0000-0002-4005-6557, [cuneytyucelbas@hakkari.edu.tr](mailto:cuneytyucelbas@hakkari.edu.tr)

coefficients were obtained. Afterwards, 10 features were extracted from the last level CA data obtained according to age factor. The extracted features were given to 4 different decision mechanisms in the form of binary classes as healthy young-adult patient and healthy adult-adult patient. The obtained results were interpreted with many statistical metrics. Significant results were obtained through expert systems and it was found that young-healthy data could be distinguished from adult-patient data with lower error values and 100% classification accuracy rate. ANN has proved its success for both classes with the error values closest to zero among the decision mechanisms. Although there are studies in this field in literature, the lack of adequate analysis of the effect of age factor on PH increased the importance of this study. Furthermore, the fact that some of the effective features used in this study were not used previously in this area where PD was automatically detected by expert systems supports the contribution of the study to the literature.

**Keywords:** Parkinson, gait signal analysis, double density 1-D wavelet transform, age factor

## 1. Giriş

Nörodejeneratif, psikiyatrik ve gelişim hastalıkları gibi zihinsel bozuklukların, hem kişisel, hem profesyonel hem de sosyal düzeyde psikolojik ve finansal etkileri mutlaka bulunmaktadır. Oluşabilecek bu olumsuz etkiler kişilerin ortalama yaşam süresini azaltır ve yaşam kalitesini düşürür. Bu nedenle bireylerin ve ailelerinin günlük yaşam kalitesi dikkate alınarak bu alana yapılan pozitif katkılar özellikle önemlidir. Bu çalışmanın ortaya çıkmasına temel etki parametresi olarak insani ve sosyal yaşam problemleri gösterilebilir. Çünkü hastalıkların erken teşhisi, bu hastalıkların kişilerin yaşamına olası negatif etkilerini azaltabilir ve hastalık evriminin zamanında kontrol edilmesini sağlayabilir [1]. Erken teşhisi etkileyen etmenler için ise yaş faktörünün hastalıklar ile olan ilişkisinin ayrıntılı analizi gerekli görülmektedir.

Parkinson, beyindeki sinir hücrelerinin kişinin yürüyüş düzenini etkileyen ve “dopamin” olarak bilinen nörotransmitter maddeyi yeterli miktarda üretememesiyle karakterize edilen bir nörodejeneratif hastalıktır [2]. Parkinson gibi nörodejeneratif hastalıkların tanısında fonksiyonel nöro-görüntüleme kullanımı oldukça popüler olmasına rağmen yine de hızlı, kolay ve düşük maliyetli ölçümler sunan alternatif tanı yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır [2]. Son bulgular serebral korteks, bazal ganglionlar ve omurilik içine inen yolakların insan hareketinde önemli rol oynadığını göstermiştir. Beyin korteksindeki ilgili bölgede oluşabilecek herhangi bir hasarın yürüme şeklini ciddi şekilde etkilemesi muhtemeldir. Bu durum Parkinson gibi sinir hücreleriyle yakından ilişkili olan bir hastalığın yürüme verileriyle tespit edilebilmesi için olumlu bir ortam oluşturmuştur. Dönme aralığı, duruş aralığı, adım aralıkları vb. gibi yürüyüş değişkenlerinin ölçümü, ayak tabanındaki kuvvete duyarlı dirençlerle yapılır ve Parkinson hastalığının (PH) teşhisinde hızlı, kolay ve uygun bir ölçüm sağlanabilir [2].

Otomatik tıbbi görüntü işleme ve büyük ölçekli tıbbi veri analizi gibi modern bilgisayar destekli tanıma işlemleri, ilgili tıbbi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yürüyüş verilerinden PH'nin saptanması için, çekirdek Fisher ayırıcı, saf Bayesian ve destek vektör makinesi gibi makine öğrenme yöntemleri kullanılmış [3-11] ve ümit verici sonuçlar elde edilmiştir. Bununla birlikte, bu yaklaşımlar sadece tipik bir sınıflandırma problemi olarak ele alınmış ve PH'yi yürüyüş bilgilerinden saptamakla birlikte, bu saptamayı anlamlı kılacak veri analizi üzerinde iyi çalışılmamıştır [11]. Bunun yanında literatürde, yaş faktörüne göre PH ve sağlıklıların ayrımının analizi için gerçekleştirilen çalışmalara nadiren rastlanmaktadır [12-14]. Bu çalışmalar veri analizlerini istatistiksel yöntemlerle gerçekleştirmiş olup, bu alanda yapay zekâ yöntemlerinin etkisinin incelenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple, bu çalışmada Çift Yoğunluklu 1-D Dalgacık Dönüşümü (ÇY1DDD) yöntemi kullanılarak deneklerden elde edilen verilerin yaş faktörüne göre analiz edilmesi ve PH'nin yüksek doğrulukla tespit edilmesi amaçlanmıştır. Kullanılan veri seti UCI makine öğrenme deposundan alınmıştır. Bu veri seti genç, yetişkin ve hasta yetişkin olmak üzere 15 denekten alınan yürüyüş verilerden oluşmaktadır [12-14]. Alınan verilere öncelikle ÇY1DDD yöntemi üç seviye olarak uygulanmış ve yaklaşım (YK) ile detay katsayıları (DK) elde edilmiştir. Daha sonra yaş faktörüne göre elde edilen son seviye YK verilerinden 10 adet özellik çıkarılmıştır. Çıkarılan bu özellikler sağlıklı genç-yetişkin hasta ve sağlıklı yetişkin-yetişkin hasta olmak üzere 2li sınıflar şeklinde 4 farklı karar mekanizmasına verilmiştir. Elde edilen sonuçlar birçok istatistiksel metrikle yorumlanmıştır. Sonuç olarak; karar mekanizmaları sayesinde anlamlı sonuçlara ulaşılmış ve genç-sağlıklı verilerinin yetişkin-hasta grubuna göre daha düşük hata değerleri ve %100 SD oranı ile ayrılabilirdiği görülmüştür. Karar mekanizmaları arasında ise sifira en yakın hata değerleriyle YSA, her iki sınıf için de başarısını kanıtlamıştır. Literatürde her ne kadar bu alanda yapılan çalışmalar çoğunlukta olsa bile, yaş faktörünün PH üzerindeki etkisinin ayrıntılı analizine yeterli derecede yer verilmemesi bu çalışmanın önemini arttırmaktadır. Bunun yanında kullanılan etkin özelliklerin bazılarının bu hastalığın akıllı sistemler tarafından otomatik tespit edildiği çalışma alanı için daha önceden kullanılmamış olması, çalışmanın literatüre katkısını önemli ölçüde desteklemektedir.

## 2. Materyal ve Yöntem

Artan yaşam beklentisi ve nüfusun yaşlanması nedeniyle, PH dünyada daha sık görülen hastalık haline gelmiştir. Bu hastalık; kasılması, titreme ve hareketlerin yavaşlığı ile karakterizedir ve genellikle 55 yaşın üzerindeki insanları etkilemektedir. Yürüme, konuşma veya yazmadaki bazı bozulma aşamaları ile motor kontrol sistemlerini etkileyen nörolojik bir hastalıktır [15]. Hastalığın bu belirtilerinden dolayı kişilerin motor hareketlerindeki değişimler kullanılarak otomatik bir şekilde hasta-sağlıklı ayrımı yapılabilir. Bu amaç doğrultusunda çalışma kapsamında kullanılan veri seti [12-14] 15 denekten (5 sağlıklı genç (23 - 29 yaş), 5 sağlıklı yetişkin (71 - 77 yaş) ve 5 yetişkin hasta (60 - 77 yaş)) alınan verilerden oluşmaktadır. Denekler, engelsiz bir yol etrafında ve düz bir zemin üzerinde sürekli yürütülmüştür. Adım aralığı, ayaktabanını içine yerleştirilmiş ultra ince, kuvvete duyarlı dirençler kullanılarak ölçülmüştür. Analog kuvvet sinyali 300 Hz'de 12 bitlik bir Analog-Dijital dönüştürücüyle örneklenmiştir. Ayak vuruşları arasındaki süre otomatik olarak hesaplanmıştır. Veriler, sağlıklı deneklerden yaklaşık 15 dakika boyunca kabaca dairesel bir yolda yürütülerek kaydedilmiş olup, Parkinson hastalığı olan deneklerden ise uzun bir koridorda 6 dakika yukarı ve aşağı yürütülerek toplanmıştır [12-14].

Bu çalışmada, hasta ve sağlıklı toplam 15 kişiden alınan yürüyüş verilerine ÇY1DDD yöntemi 3 seviye olarak uygulanmış ve en son seviye sonucunda elde edilen YK verilerinden 10 adet özellik çıkarılmıştır. Çıkarılan özellikler sırasıyla enerji (Denklem-1), ortalama mutlak değer (OMD) (Denklem-2), standart sapma (Std), Std/OMD, eğrilik (çarpıklık) (Denklem-3), basıklık (Denklem-4), hjorth hareketliliği (Denklem-5), hjorth karmaşıklığı (Denklem-6), entropi ve boşluk (clearance) faktörüdür (Denklem-7). Özelliklere ait denklemler aşağıda verilmiştir [16, 17].

$$Enerji = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (X_n)^2}{N}} \quad (1)$$

$$OMD = \frac{\sum_{n=1}^N |X_n|}{N} \quad (2)$$

$$\text{Çarpıklık} = \frac{\sum_{n=1}^N (x(n) - x_m)^3}{(N-1)\sigma_x^3} \quad (3)$$

$$\text{Basıklık} = \frac{\sum_{n=1}^N (x(n) - x_m)^4}{(N-1)\sigma_x^4} \quad (4)$$

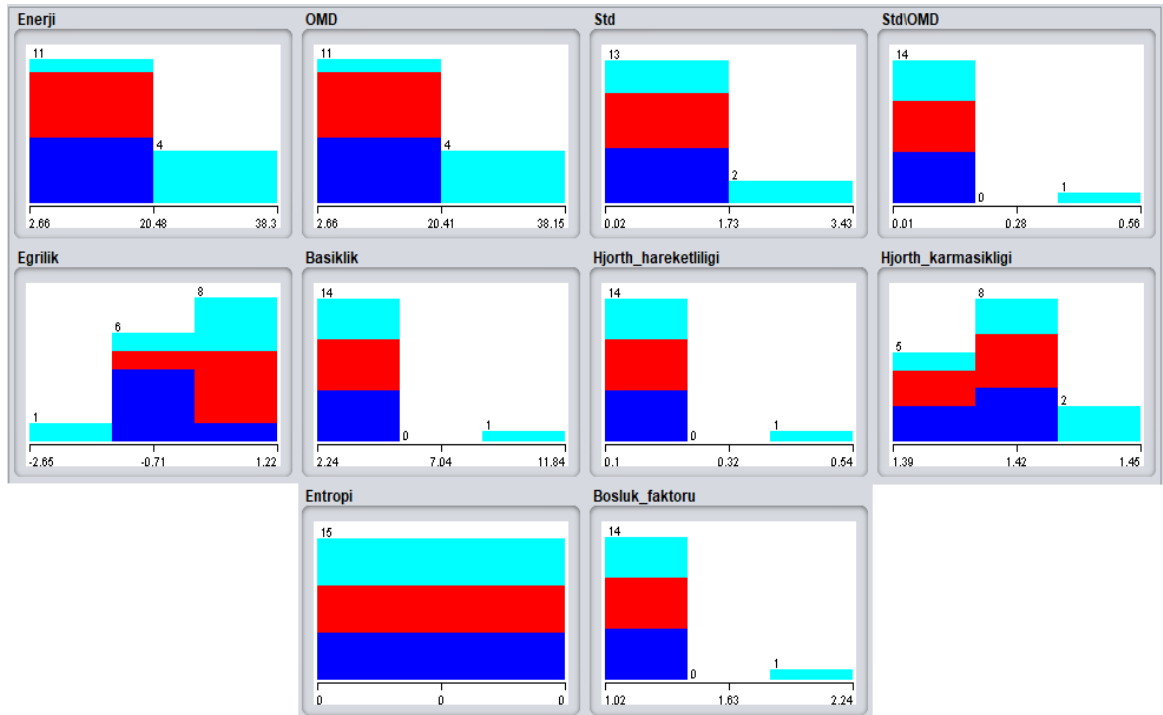
$$\text{Hjorth hareketliliği} = \sqrt{\frac{\text{var}\left(y(t) \frac{dy(t)}{dt}\right)}{\text{var}(y(t))}} \quad (5)$$

$$\text{Hjorth karmaşıklığı} = \frac{\text{Hareketlilik}\left(y(t) \frac{dy(t)}{dt}\right)}{\text{Hareketlilik}(y(t))} \quad (6)$$

$$\text{Boşluk faktörü} = \frac{X_{max}}{X_{enerji}} \quad (7)$$

burada;  $X$  veriyi,  $N$  veri boyutunu,  $x_m$  ortalama değeri,  $\sigma$  standart sapma değerini,  $\text{var}()$  varyansı ve  $X_{max}$  verideki maksimum değeri ifade etmektedir.

Bu özelliklere ait veri dağılım grafikleri üç sınıf için de Şekil 1’de gösterilmiştir. Bu grafiklerde mavi renk sağlıklı genç, kırmızı sağlıklı yetişkin ve turkuaz ise hasta yetişkin sınıflarını temsil etmektedir.

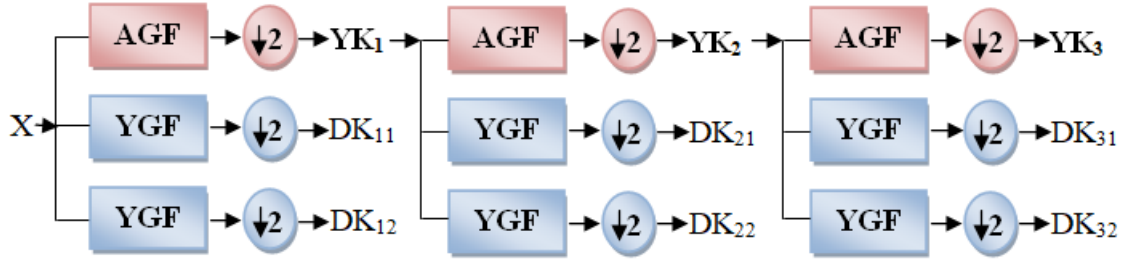


Şekil 1. Özelliklere ait veri dağılım grafikleri

Çıkarılan özelliklerle toplamda, 15x10 boyutunda veri matrisi elde edilmiştir. Bu verilere 10 kat çapraz doğrulama yöntemi uygulanarak eğitim ve test verileri oluşturulmuştur. Son aşama olarak bu veriler yapay sinir ağları (YSA), rastgele orman (RO), basit lojistik (BL) ve k-en yakın komşu (KEYK) sınıflandırıcılarına sunulularak sonuçlar çeşitli istatistiksel metriklerle yorumlanmıştır.

## 2.1. Çift Yoğunluklu 1-D Dalgacık Dönüşümü (ÇY1DDD)

Son zamanlarda ortaya atılmış ve etkinliği ispatlanmış dalgacık dönüşüm yöntemlerinden biri de ÇY1DDD' dir. Veri ayrışımı/indirgenmesi işlemi diğer dönüşüm yöntemlerinde olduğu gibi bunda da filtreler aracılığı ile gerçekleştirilmektedir. ÇY1DDD yönteminde sonlu dürtü yanıtı filtre bankası kullanılmaktadır. Bu banka içerisinde her seviyede iki yüksek geçiren filtre (YGF) ve bir alçak geçiren filtre (AGF) uygulaması yapılmaktadır [18]. Bu durum Şekil 2' de gerçekleştirilen 3 seviyeli ayrışım uygulamasında görülmektedir. Konu ile ilgili ayrıntılı anlatım araştırmacı Selesnick tarafından verilmiştir [18].



Şekil 2. ÇY1DDD yönteminin üç seviye uygulama grafiği

Çalışma kapsamında 3 seviye ÇY1DDD uygulaması yapılarak son seviye sonucunda elde edilen YK katsayıları (YK<sub>3</sub>) kullanılmıştır.

## 2.2. Karar Mekanizması ve Performans Metrikleri

Makine öğrenmesi, üzerinde çalışılan verilerden mantıklı ve rasyonel sonuçlar üretilmesini sağlayan algoritmalar bütünüdür. Bu algoritmaların kullanıldığı uzman sistemler, girdiye uygun çıktı üretebilmekte ve şayet öğretilirse yorumlayabilmektedir. Bu işlemi uygulanabilir kılan, uzman sistemler içerisine gömülü olan karar verme (sınıflandırma veya kümeleme) mekanizmasıdır. Bu mekanizmanın sınırlanabilir olması gerçekleştirilen çalışmaların güvenilirliğini artırmaktadır [19].

Bu amaç doğrultusunda bu çalışmada YSA, RO, BL ve KEYK olmak üzere 4 farklı sınıflandırıcı sistem kullanılmıştır. Bu algoritmaların çalıştırılması ve performans değerlendirmesi Weka 3.8 yazılımı [20] bünyesinde gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında, kullanılan veriler genç sağlıklı, yetişkin sağlıklı ve yetişkin hasta olmak üzere 3 farklı sınıf ile etiketlenmiştir. Elde edilen sonuçların yorumlanabilmesi için karmaşıklık (konfüzyon) matrisiyle ortaya konulan doğru pozitif, doğru negatif, yanlış pozitif ve yanlış negatif değerlerinden faydalanılmıştır. İstatistiksel olarak doğru sonuçlar elde edebilmek için ortalama mutlak hata (OMH) [21, 22], karekök ortalama hata (KOH) [21, 23], göreceli mutlak hata (GMH) [24] ve karekök bağıl hata (KBH) [25] metrikleri kullanılmış ve sırasıyla bu hataların hesapları aşağıdaki denklemler ile gösterilmiştir.

$$OMH = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i| \right] \quad (8)$$

$$KOH = \sqrt{\left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i|^2 \right]} \quad (9)$$

$$GMH = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - A_i)^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2}} \quad (10)$$

$$KBH = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^n (P_{ij} - T_j)^2}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (T_j - \bar{T})^2}} \quad (11)$$

$$\bar{T} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n T_j$$

Bu denklemlerde  $n$  örnek boyutu,  $e$  ise hatadır.  $A$  gerçek,  $P$  ve  $P_{ij}$  tahmini değerlerdir.  $T_j$  ise hedef değerdir. Çalışmalarda bu dört hata değerinin "0" veya "0"a yakın değerler alması istenir. Bu durum, sınıflara ait verilerin istenildiği şekilde sınıflandırıldığını



gösterir. Ayrıca, sonuçlar arasındaki uyum, karmaşıklık matrisindeki sonuçlar kullanılarak Kappa ile tespit edilmiştir [26]. Bu değer “1” e yakın olması, farklı sınıfların verileri arasında mükemmel bir ayırım olduğunu gösterir. Son olarak, sınıflandırma doğruluğu (SD) sonuçları Denklem-12 ile hesaplanmış ve tüm ölçümler değerlendirilmiştir [27, 28].

$$SD = \frac{\text{Doğru sınıflandırılan örnek sayısı}}{\text{Toplam örnek sayısı}} \times 100 \quad (12)$$

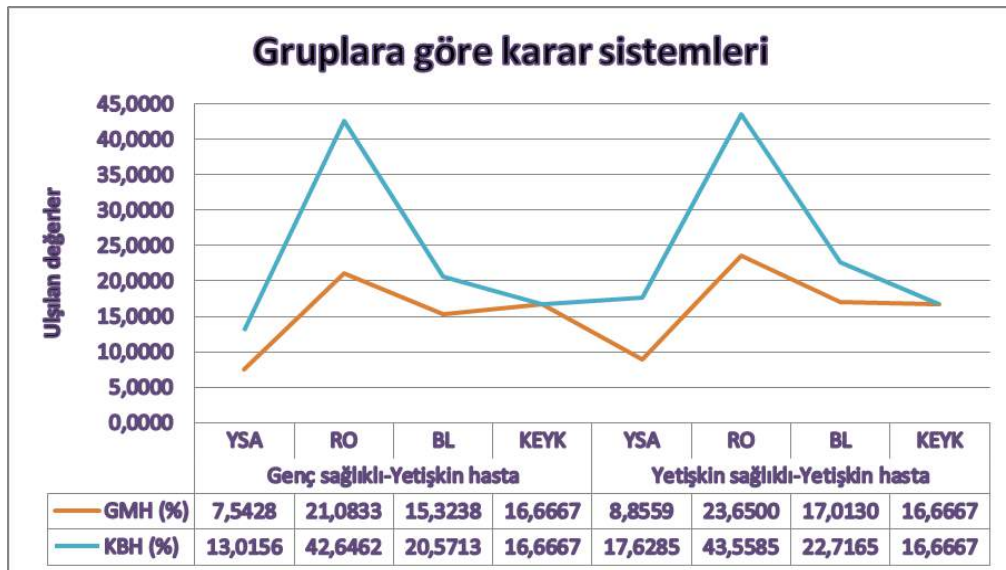
### 3. Deneysel Sonuçlar

Bu çalışmada genç sağlıklı, yetişkin sağlıklı ve yetişkin hasta sınıflarına ait olmak üzere 15 denekten alınan yürüyüş verileri kullanılmıştır [12-14]. Bu verilere ÇY1DDD yöntemi 3. dereceden uygulanmış ve elde edilen son seviye YK bileşenlerinden 10 farklı özellik çıkarılmıştır. Bu özelliklere 10 kat çapraz doğrulama yöntemi uygulanarak eğitim ve test verileri elde edilmiştir. Daha sonra bu veriler “genç sağlıklı-yetişkin hasta” ve “yetişkin sağlıklı-yetişkin hasta” olmak üzere gruplanarak 2 sınıflı hale getirilmiştir. Her bir veri grubu ayrı ayrı YSA, RO, BL ve KEYK karar sistemlerine sunulmuş ve sonuçlar Tablo 1’de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 1. Veri gruplarının her bir sınıflandırıcı için elde edilen istatistiksel sonuçları  
(Toplam Örnek Sayısı: TÖS - Doğru Sınıflandırılan Örnek Sayısı: DSÖS)

Veri Grubu	Sınıflandırıcılar	TÖS	DSÖS	Kappa	OMH	KOH	GMH (%)	KBH (%)	SD (%)
Genç sağlıklı-Yetişkin hasta	YSA	10	10	1	0.0411	0.071	7.5428	13.0156	100
	RO		9	0.8	0.115	0.2326	21.0833	42.6462	90
	BL		10	1	0.0836	0.1122	15.3238	20.5713	100
	KEYK		10	1	0.0909	0.0909	16.6667	16.6667	100
Yetişkin sağlıklı-Yetişkin hasta	YSA	10	10	1	0.0483	0.0962	8.8559	17.6285	100
	RO		9	0.8	0.129	0.2376	23.65	43.5585	90
	BL		10	1	0.0928	0.1239	17.013	22.7165	100
	KEYK		10	1	0.0909	0.0909	16.6667	16.6667	100

Tablo 1’e göre, her iki veri grubu için tüm sistemler arasında en iyi sonuçlara YSA ile ulaşılmıştır. Sonuç olarak, toplam 10 girdi doğru olarak sınıflandırılmış ve % 100 SD oranı elde edilmiştir. Ayrıca, Kappa değeri “1” e ulaşmış ve belirlenen sınıflar arasında mükemmel ayrışma sağlanmıştır. YSA karar sistemi için OMH, KOH, GMH ve KBH hata değerleri diğer sistemlere göre “0” değerine daha çok yaklaşarak bu sistemin hatasız yakın bir ayrıştırma yaptığını kanıtlamıştır. KEYK sistemi her iki veri grubu için de % 100 SD oranı ve “1” Kappa katsayısı değerine ulaşmıştır. Ayrıca bu sisteme ait OMH, KOH, GMH ve KBH hata değerleri için her iki veri grubunda da aynı sonuçlar elde edilmiştir. RO karar sistemi ise tüm sistemler arasında en kötü performansı göstermiştir. Bu algoritma ile tüm istatistiksel metriklerde en düşük sonuçlar elde edilmiştir. Bu sınıflandırıcı, veri setindeki 10 girdinin 9’unu doğru sınıflandırabilmiş ve yetişkin sağlıklı-yetişkin hasta veri grubuna ait bir veriyi diğer veri grubuna atmış gibi değerlendirmiştir. Bunun sonucunda %90 SD oranı ve “0.8” Kappa değeri elde edilmiştir. Gruplara göre tüm karar sistemleri için elde edilen GMH ve KBH sonuçlarının grafiksel dağılımı Şekil 3’de gösterilmiştir. Buradan anlaşılacağı üzere en başarısız sistem RO iken, genel olarak en düşük hata değerlerinin alınarak en başarılı performansın elde edildiği karar sistemi YSA olmuştur.



Şekil 3. Gruplara göre tüm karar sistemleri için elde edilen % GMH ve % KBH sonuçları

## 4. Sonuç ve Tartışma

Parkinson, hareketi etkileyen ilerleyici bir sinir sistemi bozukluğudur. Bu hastalığa ait belirtiler bazen zor fark edilebilen bir titreme başlayabilir. Bu hastalıkta titreme yaygındır ve bu durum sık sık hareket sertliğine veya yavaşlamasına neden olur. PH'nin erken evrelerinde, hastanın yüz mimiklerinde belirsizleşmeler ortaya çıkabilir. Bunun yanında yürürken kolların sallanmaması ve konuşmanın yumuşak veya bulanık olması da diğer belirtilerdendir. PH genel olarak 40 yaş üstü kişilerde daha sık karşılaşılan bir rahatsızlıktır [29]. Fakat günümüzde birçok hastalığa ait belirtiler literatürde belirtilenden daha erken yaşlarda ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu nedenle bütün hastalıklar için yaş faktörüne göre gerçekleştirilen analiz çalışmaları önem kazanmaktadır. Bunun yanında, günümüzde yapay zekâ teknolojisine göre geliştirilen hastalık tespit sistemleri, kişilerin hastalıklar için ön değerlendirme yapmasına olanak sağlamıştır. Bu durum zaman ile mekândan bağımsız olmayı kolaylaştırmış ve uzmanların yaptıkları işlerin doğruluğunu test edebilmeleri için zemin oluşturmuştur. Belirtilen amaçlar doğrultusunda bu çalışmada, yaş faktörüne göre elde edilen girdilerin değerlendirilmesi sonucunda PH veya sağlıklı olarak karar verme kapasitesine sahip otomatik bir analiz sistemi önerilmiştir. Çalışma kapsamında yaş faktörünün PH hastalığı için etkisini analiz edebilmek için sağlıklı denekler yaş aralıklarına göre sınıflandırılmıştır. Önerilen karar mekanizmalarında verilerin ayırt ediciliğini arttırabilmek ve daha güvenilir sonuçlar elde edebilmek için deneklerden alınan yürüyüş verilerine öncelikle ÇY1DDD yöntemi uygulanmıştır. Daha sonra, bu yöntem 3. Seviye sonucunda elde edilen YK'dan zaman ortamında etkin 10 adet özellik çıkarılmıştır. Karar mekanizması için 4 farklı sınıflandırıcı sistem belirlenmiş ve son veri seti yaş faktörüne göre bu sistemlere sunulmuştur. Bu sunum sonucunda, karar mekanizmaları sayesinde anlamlı sonuçlara ulaşılmış ve genç-sağlıklı sınıfının yetişkin-hasta sınıfından daha düşük hata değerleri ve %100 SD oranı ile ayrılabilirdiği görülmüştür. Karar mekanizmaları arasında ise sıfıra en yakın OMH ve KOH hata değerleriyle YSA, her iki sınıf için de başarısını kanıtlamıştır. Elde edilen sonuçlar, genç bireylerde ortaya çıkabilecek PH' nin yetişkinlere göre daha net bir şekilde erken teşhis edilebileceğini göstermiştir.

Literatürde her ne kadar bu alanda yapılan çalışmalar çoğunlukta olsa bile yaş faktörünün PH üzerindeki etkisinin ayrıntılı analizine yeterli derecede yer verilmemiştir. Bunun yanında, PH' nin tespiti için ÇY1DDD yöntemi ile özellik analizinin yapıldığı bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Ayrıca kullanılan etkin özelliklerin bazıları, bu hastalığın uzman sistemler tarafından otomatik teşhis edildiği çalışma alanı için yenidir. Bu sebeple gerçekleştirilen çalışmanın literatüre katkısı önemli ölçüdedir. Bu çalışma baz alınarak ve veri sayısı genişletilerek daha farklı yaş grupları için ayrıntılı analizler yapılabilir. Böylece daha fazla yaş grubunun bu hastalıkla olan ilişkisi ortaya konulmuş olacaktır.

## Kaynakça

- [1] D. Braga, A. M. Madureira, L. Coelho, & R. Ajith. (2019). Automatic detection of Parkinson's disease based on acoustic analysis of speech. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 77, pp. 148-158.
- [2] D. Joshi, A. Khajuria, & P. Joshi. (2017). An automatic non-invasive method for Parkinson's disease classification. *Computer methods and programs in biomedicine*, vol. 145, pp. 135-145.
- [3] F. Wahid, R. K. Begg, C. J. Hass, S. Halgamuge, & D. C. Ackland. (2015). Classification of Parkinson's disease gait using spatial-temporal gait features. *IEEE journal of biomedical and health informatics*, vol. 19, no. 6, pp. 1794-1802.
- [4] J. Hannink et al. 2016. Stride length estimation with deep learning. *arXiv preprint arXiv:1609.03321*.
- [5] T. Khan & J. Westin. (2011). Motion cues analysis for Parkinson gait recognition. in *15th International Congress of Parkinson's Disease and Movement Disorders*, Toronto, Canada, 5-9 juni, 2011.
- [6] J. D. A. Paredes, B. Muñoz, W. Agredo, Y. Ariza-Araújo, J. L. Orozco, & A. Navarro. (2015). A reliability assessment software using Kinect to complement the clinical evaluation of Parkinson's disease. in *2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC): IEEE*, pp. 6860-6863.
- [7] A. P. Rocha, H. Choupina, J. M. Fernandes, M. J. Rosas, R. Vaz, & J. P. S. Cunha. (2015). Kinect v2 based system for Parkinson's disease assessment. in *2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC): IEEE*, pp. 1279-1282.
- [8] A. P. Rocha, H. Choupina, J. M. Fernandes, M. J. Rosas, R. Vaz, & J. P. S. Cunha. (2014). Parkinson's disease assessment based on gait analysis using an innovative RGB-D camera system. in *2014 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society: IEEE*, pp. 3126-3129.
- [9] H.-L. Chen, G. Wang, C. Ma, Z.-N. Cai, W.-B. Liu, & S.-J. Wang. (2016). An efficient hybrid kernel extreme learning machine approach for early diagnosis of Parkinson's disease. *Neurocomputing*, vol. 184, pp. 131-144.
- [10] D. Rodriguez-Martin, A. Samà, C. Pérez-López, J. Cabestany, A. Català, & A. Rodríguez-Molinero. (2015). Posture transition identification on PD patients through a SVM-based technique and a single waist-worn accelerometer. *Neurocomputing*, vol. 164, pp. 144-153.
- [11] A. Zhao, L. Qi, J. Li, J. Dong, & H. Yu. (2018). A hybrid spatio-temporal model for detection and severity rating of Parkinson's Disease from gait data. *Neurocomputing*, vol. 315, pp. 1-8.
- [12] J. M. Hausdorff, P. L. Purdon, C. Peng, Z. Ladin, J. Y. Wei, & A. L. Goldberger. (1996). Fractal dynamics of human gait: stability of long-range correlations in stride interval fluctuations. *Journal of applied physiology*, vol. 80, no. 5, pp. 1448-1457 <https://physionet.org/content/gaitdb/1.0.0/>.
- [13] J. M. Hausdorff et al. (1997). Altered fractal dynamics of gait: reduced stride-interval correlations with aging and Huntington's disease. *Journal of applied physiology*, vol. 82, no. 1, pp. 262-269.
- [14] J. M. Hausdorff, M. E. Cudkovicz, R. Firtion, J. Y. Wei, & A. L. Goldberger. (1998). Gait variability and basal ganglia disorders: stride-to-stride variations of gait cycle timing in Parkinson's disease and Huntington's disease. *Movement disorders*, vol. 13, no. 3, pp. 428-437.

- [15] A. Jilbab, A. Benba, & A. Hammouch. (2017). Quantification system of Parkinson's disease. *International Journal of Speech Technology*, vol. 20, no. 1, pp. 143-150.
- [16] S. Yucelbas, S. Ozsen, C. Yucelbas, G. Tezel, S. Kuccukturk, & S. Yosunkaya. (2016). Effect of EEG time domain features on the classification of sleep stages. *Indian J. Sci. Technol*, vol. 9, no. 25, pp. 1-8.
- [17] P. Careena, M. M. S. J. Preetha, & P. Arun. (2019). Research on Murmur from Time Domain Features of Heart Sounds. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, vol. 8, no. 1S4, pp. 736-743.
- [18] I. W. Selesnick. (2001). The double density DWT. in *Wavelets in Signal and Image Analysis: Springer*, pp. 39-66.
- [19] C. M. Bishop. (2006). Pattern recognition and machine learning. *New York, NY: Springer*, 738 p.
- [20] I. H. Witten, E. Frank, L. E. Trigg, M. A. Hall, G. Holmes, & S. J. Cunningham. (1999). Weka: Practical machine learning tools and techniques with Java implementations.
- [21] C. J. Willmott & K. Matsuura. (2005). Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate research*, vol. 30, no. 1, pp. 79-82.
- [22] F. Yildiz, & A.T. Özdemir. (2019). Prediction of laser-induced thermal damage with artificial neural networks. *Laser Phys.*, 29 (7), 7 pp.
- [23] F. Yıldız. (2019). 1940 Nm Fiber Lazer Kaynağının Karaciğer Dokusundaki Isıl Hasarının Yapay Sinir Ağları İle Tahmini. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 24 (2) , 583-594.
- [24] P. Cichosz. (2015). Data mining algorithms: explained using R. *Wiley Online Library*.
- [25] Gepsoft. (2019). Analyzing GeneXproTools Models Statistically - Root Relative Squared Error (Access date: 10 September 2019) <https://www.gepsoft.com/gxpt4kb/Chapter10/Section1/SS07.htm>. .
- [26] J. R. Landis & G. G. Koch. (1977). An application of hierarchical kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among multiple observers. *Biometrics*, pp. 363-374.
- [27] Ş. Yücelbaş, C. Yücelbaş, G. Tezel, S. Özşen, S. Küççüktürk, & Ş. Yosunkaya. (2017). Pre-determination of OSA degree using morphological features of the ECG signal. *Expert Systems with Applications*, vol. 81, pp. 79-87.
- [28] F. Yildiz. (2019). Optimization of an artificial neural network to estimate laser ablation efficiency. *Laser Phys.*, 29 (11), 7 pp.
- [29] H. Apaydın, S. Özekmekçi, S. Oğuz, & İ. Zileli. (2013). Parkinson Hastalığı Hasta Ve Yakınları İçin El Kitabı. <http://parkinsonderneği.com/wp-content/uploads/2017/04/Parkinson-Hastaligi-Hasta-ve-Yakinlari-icin-El-Kitabi.pdf>, İstanbul.



## Meram Dere Vadisi'nin (Konya) Floristik Özellikleri

Recep Bozyiğit<sup>1\*</sup>, Baştürk Kaya<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Necmettin Erbakan Üniversitesi, Ahmet Keleşoğlu Eğitim Fakültesi, Coğrafya Eğitimi, Konya, Türkiye (ORCID:0000-0002-9790-1168)

<sup>2</sup>Necmettin Erbakan Üniversitesi, Ahmet Keleşoğlu Eğitim Fakültesi, Biyoloji Eğitimi, Konya, Türkiye (ORCID:0000-0002-4801-4386)

(İlk Geliş Tarihi 10 Kasım 2019 ve Kabul Tarihi 7 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.649509)

**ATIF/REFERENCE:** Bozyiğit, R. & Kaya, B. (2019). Meram Dere Vadisi'nin (Konya) Floristik Özellikleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 888-900.

### Öz

“Meram Dere Vadisi'nin (Konya) Floristik Özellikleri” adlı çalışmanın amacı, vadi ve yakın çevresinin floristik özelliklerini, bu özelliklerin ortaya çıkmasında etkili olan faktörleri ortaya koymaktır. Çalışmanın gerçekleştirilmesi için öncelikle konu ile ilgili toprak, jeoloji, amenajman haritaları ile raporlardan yararlanılmıştır. Veri toplama ve hazırlama sürecinden sonra saha çalışmalarına geçilmiştir. Farklı zamanlarda gerçekleştirilen saha çalışmaları ile bitki örtüsünün güncel durumu belirlenmiş ve haritalandırılmıştır. Ayrıca vadi ve çevresindeki bitki türlerine etki eden süreçler ve etki değerleri yerinde gözlemlenerek kayıt altına alınmıştır. Çalışmanın topoğrafya, toprak ve bitki örtüsü haritaları, Mapp İnfö 9.5 programı kullanılarak hazırlanmıştır. Son aşamada ise elde edilen tüm bilgiler coğrafya biliminin ilkeleri doğrultusunda analiz edilerek yazım aşaması gerçekleştirilmiştir.

Araştırma sahası floristik yapı bakımından ilginç özellikler göstermektedir. Bu özelliklerin ortaya çıkmasında doğal ve antropojenik faktörlerin etkileri görülmektedir. Özellikle Meram Dere Vadisi'nin doğu-batı yönlü uzantılı yüksek dağlık ve tepelik alanlarla çevrili bir yapı oluşturması bu sahanın bir mikroklima özelliği göstermesine yol açmıştır. Bu durum, bitki örtüsünü olumlu yönde etkilemiştir. Akdeniz elementi olan Menengiç (*Pistacia terebinthus*) sıklıkla rastlanan bir tür olarak bu kesimlerde topluluk halinde yer almaktadır. Ayrıca farklı jeolojik dönemlere ait ana kaya üzerinde oluşmuş topraklar, bitki örtüsünün de niteliğinin değişmesine neden olmuştur. Menengiç (*Pistacia terebinthus*) ofiolit kayaların bulunduğu kesimlerde daha seyrek ve daha bodurlaşmış olarak gelişirken; kalker, dolomitik kalker anakaya üzerinde hem sayı olarak artmış, hem de daha iyi bir fizyonomiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Meram Dere Vadisi'nin bitki örtüsü; orman, çalı ve step vejetasyonundan oluşmaktadır. Meram Dere Vadi tabanında ve yakın çevresinde nemiçil; vadi yamaçlarına doğru kurakçıl çalı ve orman; plato yüzeylerinde orman ağaçları, çalı ve step vejetasyonunun yoğunlaştığı görülmektedir.

Sonuç olarak Meram Dere Vadisi'nde bitki örtüsünün şekillenmesinde mikroklima, topoğrafya, anakaya, toprak, hidroğrafik şartların etkisi yanında antropojenik faktörlerin de etkili olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Meram Dere, Vadi, Mikroklima, Konya, Floristik,

## Floristic Features of Meram Dere Valley (Konya)

### Abstract

The aim of the study entitled “Floristic Features of Meram Dere Valley (Konya)” is to determine floristic characteristics of the valley and its immediate surroundings and the factors playing a role in the emergence of these features. Hence, first reports about the soil, geology, management maps & reports were employed for the present study. Subsequent to the data collection and preparation process, field studies were begun. The current status of the present vegetation was determined and mapped with field studies conducted at various times. Moreover the conditions influencing the valley and surrounding plant species and their impact values were observed on-site and recorded. Topography, soil and vegetation maps of the study were prepared by using Mapp Info 9.5 program. At the final stage, all the information obtained was analyzed according to the principles of geography and the present manuscript written.

The research area has interesting features in terms of its floristic structure. The effects of natural and anthropogenic conditions are vivid in emergence of these features. Meram Dere Valley is a structure surrounded by high mountainous and hilly areas extending in the east-west direction. This fact has in particular led to the formation of a microclimate with a positive impact on the vegetation. *Pistacia terebinthus*, which is a Mediterranean element, is a common species. In addition, the soils formed on the bedrock belonging to different geological periods caused the flora as well as their features to change. Whereas *pistacia terebinthus* is less frequent and dwarfed on the ophiolite rocks, on limestone and dolomitic limestone bedrock it is more frequent and has a better physiognomy.

\* Sorumlu Yazar: Necmettin Erbakan Üniversitesi, Ahmet Keleşoğlu Eğitim Fakültesi, Coğrafya Eğitimi, Konya, Türkiye, ORCID:0000-0002-9790-1168, [fethiye.kemer@gmail.com](mailto:fethiye.kemer@gmail.com)



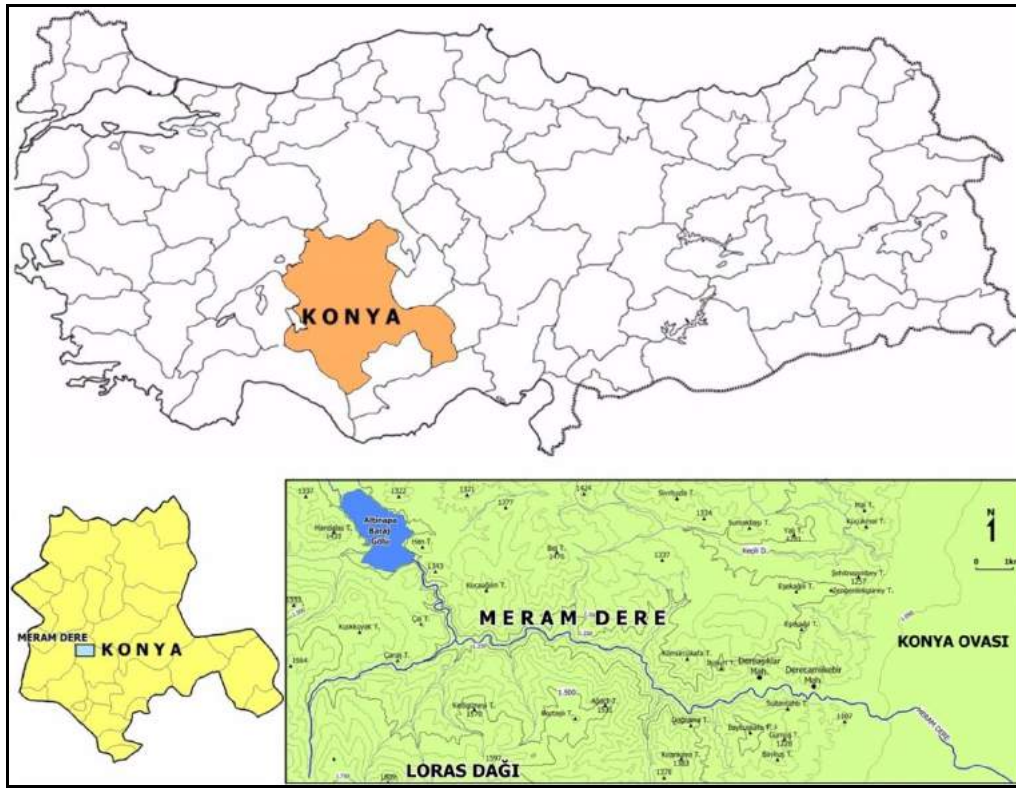
The vegetation of Meram Dere Valley consists of forest, shrub and steppe vegetation. The vegetation at the bottom and nearby area consists of humid, the versants of xerophilous plant and forest, and the plateaus of forest trees, shrubs and of steppe vegetation. In conclusion, anthropogenic factors along with microclimate, topography, bedrock, soil, and hydrographic conditions were effective in the formation of the vegetation in Meram Dere Valley in Konya.

**Key Words:** Meram Dere, Valley, Microclimate, Konya, Floristic

## 1. Giriş

Günümüzde bitki türleri, yayılışı ve ekolojik isteklerine yönelik çalışmalar bulunmaktadır (Dural, 1984; Güngördü, 1985; Çetik, 1985; Avcı, 1993-1996, 1998a, 1998b; Günal 1998-1999). Ancak bu çalışmaların sürdürülebilirliği zamanla orantılı olarak değişmektedir. Türkiye'nin floristik açıdan zengin olması araştırmacıların azmini arttırmakta, her yıl Türkiye Florasına yeni bitki türleri eklenmektedir. Bu açıdan, Meram Dere Vadisi sahip olduğu floristik özellikleri ile dikkat çekmektedir.

Meram Dere Vadisi, İç Anadolu Bölgesi'nde Konya ili sınırları içerisinde yer almaktadır. Vadi, 38° 45'02"-49° 30' 05" doğu meridyenleri arasında bulunmaktadır. Vadiyi, kuzeyde Altınapa Baraj Gölü ile Keçili Deresi Vadisi, Doğuda Konya Ovası, güneyde Loras Dağı (2051 m) ve batısında Çaldağı sınırlamaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Meram Dere Vadisi'nin Lokasyon Haritası.

Meram Dere Vadisi, Altınapa Barajı Havzası'nın sularını Konya Ovası'na boşaltan bir vadidir. Vadi, Konya Kapalı Havzası içerisinde farklı iki alt hidrolojik havzayı birbirine bağlamasının yanında oluşum, gelişim, iklim ve bitki türleri açısından farklılıklar göstermektedir. Meram Dere Vadisi ile ilgili çalışmalar arasında jeolojisine yönelik olanlar geniş yer tutmaktadır. Bu konuda Göger ve Kıral (1973) vadiye en yaşlı birimlerin Alt-Orta Trias yaşlı kalker ve dolomitler olduğunu belirtmişlerdir. Güyer vd. (1998) ile Süzer vd. (2011) Üst Kretase-Alt Paleosen aralığında çökelmiş olan kumtaşı, silttaşı, peridotit, gabro ve çörtlü kalkerlerin vadinin doğu kesiminde her iki yamaçta yüzeylediğini ifade etmişlerdir. Meram Dere Vadisi çevresindeki plato yüzeylerin Orta Miosen-Alt Pliosen yaşlı kumtaşı, çakıltaşı, kiltası, killi kalker, kalker, tuf ve aglomerallardan oluştuğunu ileri sürmüşlerdir (Bulduk vd. 2006; Şenel-Pehlivan, 2016).

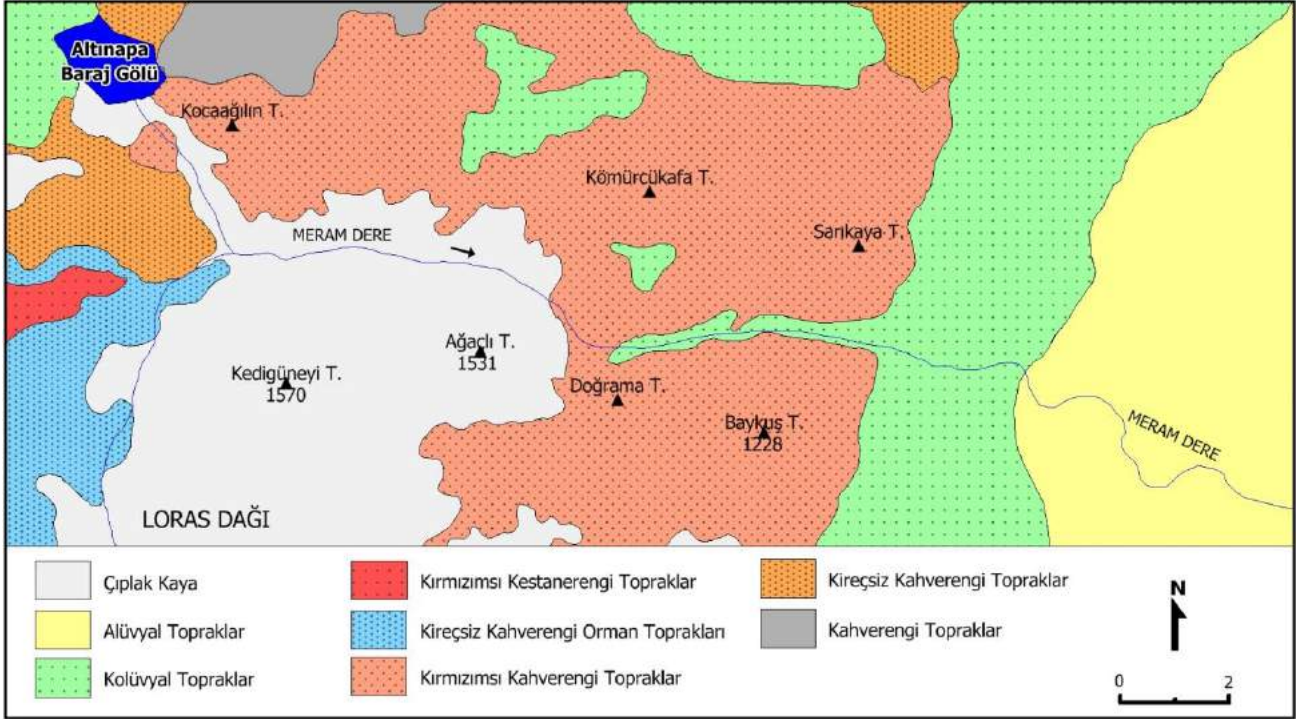
## 2. Materyal ve Metot

“Meram Dere Vadisi'nin (Konya) Floristik Özellikleri” adlı çalışma, vadi ve yakın çevresinin floristik özelliklerini, bu özelliklerin ortaya çıkmasında etkili olan faktörleri ortaya koymayı hedeflemektedir. Çalışmanın gerçekleştirilmesi için öncelikle konu ile ilgili toprak, jeoloji, amenajman haritaları ve raporlardan yararlanılmıştır. Veri toplama ve hazırlama sürecinden sonra saha çalışmalarına geçilmiştir. Farklı zamanlarda gerçekleştirilen saha çalışmaları ile bitki örtüsünün güncel durumu belirlenmiş ve haritalandırılmıştır. Ayrıca vadi ve çevresindeki bitki türlerine etki eden süreçler ve etki değerleri yerinde gözlemlenerek kayıt altına alınmıştır. Çalışmanın





almaktadır. *Kırmızımsı Kestanerengi Topraklar*: A, B ve C profili ile dikkat çeker. Kırmızı kestane rengi topraklar orman, çalılık ve kuru tarım olarak kullanılmaktadır. *Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları*: Meram Dere Vadisi ve çevresinde topoğrafyanın dağlık ve tepelik, eğimin fazla olduğu kesimlerde görülmektedir. *Kırmızımsı Kahverengi Topraklar*: Meram Dere Vadisi ve çevresinde en yaygın toprak tipini oluşturur (Şekil 3). Dalgalı bir plato yüzeyinde A, B ve C profilli zonal topraklardır. *Kireçsiz Kahverengi Topraklar*: dalgalı tepelik sahalarda A, B ve C profilli zonal topraklardır. *Kahverengi Topraklar*: Meram Dere Vadisi'nin kuzeydoğusunda yer alır. Step bitki örtüsü altında oluşmuş sığ topraklardır. Kumtaşı, çakıltaşı, kalker ve tüflü ana materyal üzerinde gelişme göstermiştir.



Şekil 3. Meram Dere Vadisi ve Çevresinin Toprak Haritası (Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Köy Hiz. Müd., 1992'den Değiştirilerek).

Meram Dere ve çevresinde az nemli mezotermal, su eksiği yaz mevsiminde ve çok kuvvetli, okyanus etkisine çok yakın bir iklim hüküm sürmektedir. Yıllık ortalama yağış 340.3 mm, yıllık ortalama sıcaklık 11.6°C olarak tespit edilmiştir. Meram Dere Vadisi ve çevresinde yıllık rüzgar yönü incelendiğinde en yüksek frekansa NNE (11.88) ve N (11.75), yönlü rüzgarlar sahiptir (Meteoroloji Gn., Müd. 2018).

Meram Dere, kaynağını Aladağ (2339 m), Morbel, Akçal (1846 m) ve İtdişi (1920 m) tepelerinden alır. Buradan Uluçay Deresi adı ile doğar. Doğu ve Güneydoğu doğrultusunda akarak Darboğaz, Kışla, Hüyük, Dilekçi, Ulumuhsine, Küçükmuhsine, Kubbe, Sulu ve Han derelerini alarak Altınapa Baraj Gölü'ne ulaşır. Baraj Gölü'nden itibaren Meram Dere adını alarak Meram Dere Vadisi'nde akışını sürdürür. Meram Dere, Altınapa Barajı'ndan itibaren önce kuzey-güney yönünde ilerler. Daha sonra doğuya doğru dönerek Konya Ovası'na ulaşır.

Meram Dere'nin akım özellikleri doğal olmaktan uzaktır. Altınapa Barajı denetiminde olan derenin akımında yıl içerisinde bir seviye yükselmesi (Mart-Mayıs), bir de seviye alçalması (Temmuz-Eylül) meydana gelir (Orhon ve diğerleri, 1993; D.S.İ., IV. Böl. Müd., 2010). Karların eridiği döneme tekabül eden bahar aylarında kabarma, yağışların azalmasına bağlı olarak da yaz aylarında bir seviye düşmesi görülür.

Sonuç olarak Meram Dere Vadisi, floristik yapı bakımından ilginç özellikler göstermektedir. Bu özelliklerin ortaya çıkmasında doğal faktörlerin etkileri görülmektedir. Özellikle Meram Dere Vadisi'nin doğu-batı yönlü uzantılı yüksek dağlık ve tepelik alanlarla çevrili bir yapı oluşturması kuzey sektörlü rüzgârların vadiye ulaşmasını nispeten engellemektedir. Böylece nem ve sıcaklık şartları üzerinde olumlu bir etki oluşmakta ve sahanın bir mikroklima özelliği göstermesine yol açmaktadır. Bu durum, bitki örtüsü üzerine olumlu yönde yansımaktadır. Diğer önemli bir özellik ise jeolojik yapıyı oluşturan ana kayanın tabiatından kaynaklanmaktadır. Farklı jeolojik dönemlere ait kalker, ofiolit, peridotit, gabro, serpantin, radyorit, kumtaşı, silttaşı, ve volkanit gibi unsurların, sahada bulunan toprak oluşumu ve özelliklerini etkilemesi bitki örtüsünün de niteliğinin değişmesine neden olmuştur.

### 3.2. Meram Dere Vadisi'nin Floristik Özelliklerine Etki Eden Antropojenik Faktörler

Meram Dere Vadisi'nin floristik özelliklerine olumsuz yönde etki eden faktörler içerisinde antropojenik etkiler ön plana çıkmaktadır. Bu etkilerin başında Meram Dere Vadisi'nin yerleşim birimlerine yakın olması ve vadinin birçok kesiminin tarım amaçlı kullanılması



gelmektedir. Vadinin meyvecilik, bağcılık gibi zirai faaliyetlere uygun olması, doğal bitki örtüsünün tahrip olmasına zemin hazırlamıştır. Bu durum bitki örtüsü üzerinde bir dezavantaj olarak ortaya çıkmıştır. Beşeri faktörlerin diğer önemli etkilerinden birisi de sürü otlatmacılığıdır. Ayrıca araştırma sahasını oluşturan vadinin içerisinde doğu batı yönlü bir yol güzergâhının bulunması da bitki örtüsünün doğal gelişimini olumsuz yönde etkileyen diğer bir faktördür. Bu şartlar, vadi ve çevresindeki doğal bitki örtüsünün yatay ve dikey yöndeki dağılışı sınırlarının ortaya çıkmasında etkili olmaktadır.

Araştırma sahasında yer yer bozuk orman kalıntılarının varlığını sürdürmesi bu kesimlerin geçmiş dönemlerde ormanlarla kaplı olduğunu göstermektedir. Bu ormanlar daha çok yaprak dökken ağaçlardan oluşmaktadır. Bu bölgede doğal bitki örtüsü uzun sürede varlığını sürdürebilecek özellikte değildir. Daha çok step özelliğini yansıtmaktadır. Araştırma sahasında ormandan arta kalan kesimlerde çalı vejetasyonu yer yer hâkim durumdadır.

### 3.3. Meram Dere Vadisi'nin Floristik Özellikleri

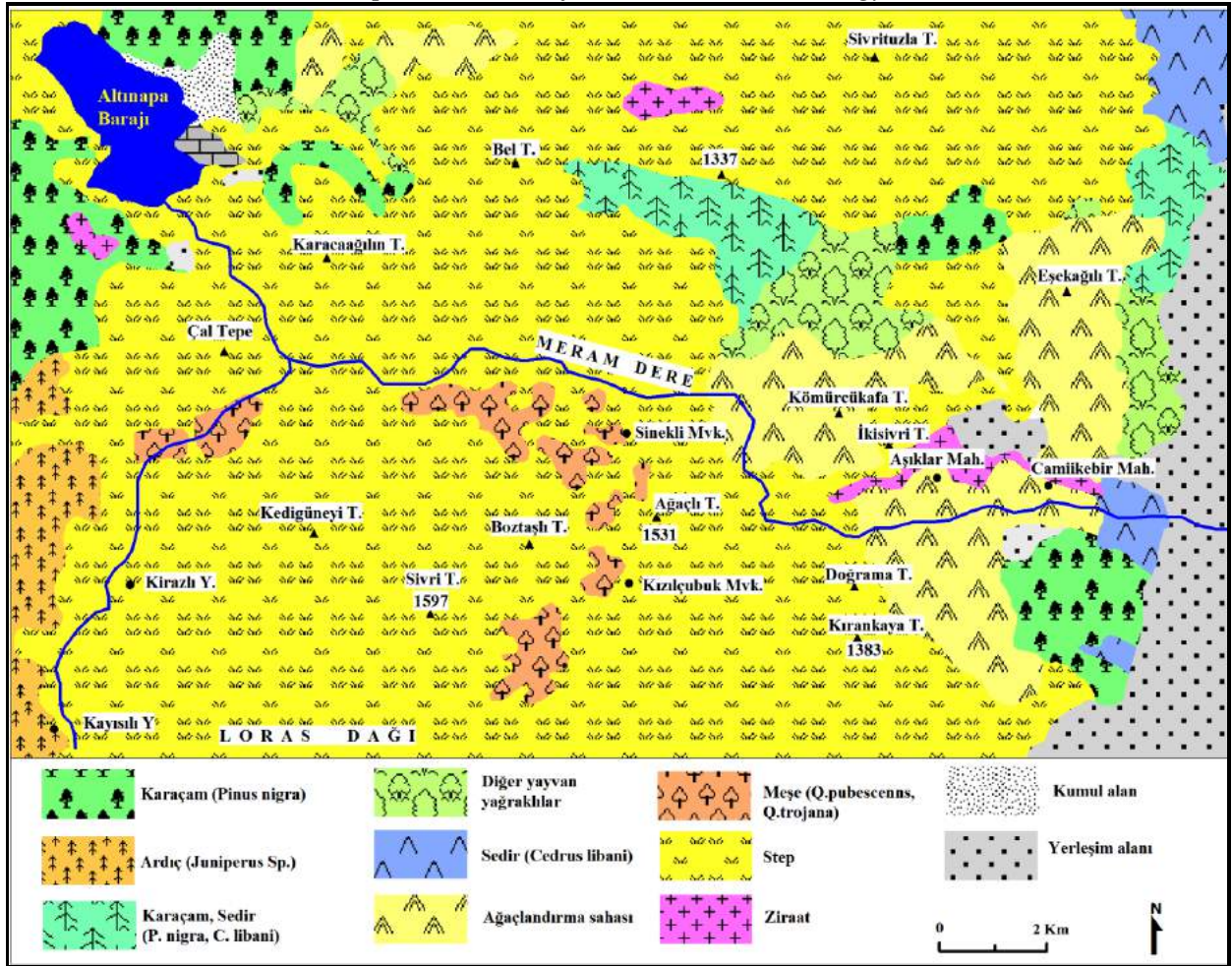
Meram Dere Vadisi ve çevresinde orman, çalı ve step vejetasyonu görülmektedir. Bu vejetasyon tiplerinin yanı sıra akarsu kenarlarında (Meram Dere Vadisi tabanında ve yakın çevresinde) nemcil bir vejetasyonun varlığından da söz etmek yerinde olacaktır. Vadi yamaçlarına doğru kurakçıl çalı ve orman vejetasyonu hâkim durumdayken, plato yüzeylerinde orman ağaçları, çalılar ve step vejetasyonunun yoğunlaştığı görülmektedir. Yerleşim alanlarına yakın kesimlerde ise kültür bitkilerinin çeşitliliği vadinin ekolojik özelliklerini yansıtmaması bakımından önem arz etmektedir.

Orman vejetasyonu, küçük topluluklar halinde özellikle yayvan yapraklıların oluşturduğu yaprak dökken ağaçlardan oluşmaktadır. Bu ağaçların esasını Meşe (*Quercus sp.*) türleri oluşturmaktadır. Kuraklığa ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı olan bu türler bozuk orman görünümünde olup seyrek bir yapı oluşturmaktadır. Meşe toplulukları özellikle vadinin kuzey yamaçlarında erozyonun nispeten az olduğu ve vadi yamaçlarının iç bükey alanlarında nispeten toprağın muhafaza edildiği kesimlerde yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 4). Bu kesimlerin başında da; Ağaçlı Tepe'nin (1531 m) batısı, Boztaşlı Tepe'nin kuzey ve doğusu (1500-1550 m), Sineklibel Mevkii ve batısı gelmektedir (Şekil 5). Meşe toplulukları bazen Tüylü meşe (*Quercus pubescens*), bazen de Makedonya meşesi (*Quercus trojana*) türlerinden oluşmaktadır. Meşe toplulukları arasında yer yer Katran ardıcı (*Juniperus oxycedrus*), Kokar ardıç (*Juniperus foetidissima*), Dağ muşmulası (*Cotoneaster nummularia*) gibi türler yer almaktadır. Bu kesimlerde kekik, adaçayı ve keven gibi türler açık alanlarda sık karşılaşılan ve geniş yayılışa sahip olan türler olarak ortaya çıkar. Yine kireçsiz kahverengi orman toprakları üzerinde bozuk ardıç toplulukları yer almaktadır. Bu topluluklar içerisinde en çok göze çarpan Katran ardıcı (*Juniperus oxycedrus*)'dır. Bu tür, çalimsı bir özellikte olmasına rağmen bu alanda yetişmesi buranın özel bir ortam olduğunu gösterir. Bu topluluklar, Orta Trias-Üst Jura dolomitik kalkerler ile Alt-Orta Trias kalkerler üzerinde gelişmektedirler (Şekil 6). Bu bitkiler araştırma sahasının güneybatı kesimlerinde yer alan Kirazlı Yayla'nın batı kesimleri ve Kayısılı Yayla etrafında seyrek ve bazen de münferit olarak yayılış göstermektedir. Vadinin güney kesimlerinde ise karaçam topluluklarının yayılışı ortaya çıkmaktadır. Karaçamlar bu alanda daha çok ağaçlandırma ile oluşturulan topluluklar halindedir.



Şekil 4. Boztaşlı Tepe'nin Kuzey ve Doğu Yamaçlarındaki Meşe Toplulukları. Bu Topluluklarda, Hakim Meşe Türü, Tüylü Meşe (*Quercus pubescens*) Olmakla Beraber Yer Yer Makedonya Meşesi (*Quercus trojana*) Yer Almaktadır.





Şekil 5. Meram Dere Vadisi ve Çevresinde Bitki Türlerinin Yayılış Haritası.



Şekil 6. Orta Trias-Üst Jura Dolomitik Kalkerler Üzerinde Gelişme Göstermiş Katran Ardıç (*Juniperus oxycedrus*), Yer Yer Menengiç (*Pistacia terebinthus*) ile Karma Oluşturur.



Araştırma sahasında yayılış gösteren diğer bir formasyon, çalı vejetasyonudur. Özellikle vadinin güney yamaçlarında yayılış gösteren Menengiç (*Pistacia terebinthus*) ilginç bir şekilde bu bölgede bulunmaktadır. Akdeniz elementi olan Menengiç (*Pistacia terebinthus*) çalı halinde sıklıkla rastlanan bir tür olarak bu kesimlerde topluluk oluşturmaktadır. Ofiolit kayaçların bulunduğu kesimlerde daha seyrek ve daha bodurlaşmış olarak gelişirken ofiolit kayaçların ortadan kalktığı ve kalker kayaçların başladığı kesimlerde Menengiç (*Pistacia terebinthus*)'in hem sayı olarak arttığı hem daha iyi bir fizyonomiye sahip olduğu görülmektedir (Şekil 7). Ayrıca bu tür kahverengi ve kırmızı kahverengi topraklar üzerinde yoğunlaşmaktadır. Menengiç (*Pistacia terebinthus*)'in bu kesimlerde yayılış göstermesi buranın bir mikroklima alanı olduğuna işaret etmektedir. Vadi boyunca doğu batı yönlü uzanan tepelerin adeta set halinde vadiyi çevrelemesi Meram Dere Vadisi'nin kuzey sektörlü hakim rüzgarlara kapalı bir konumda olmasına neden olmaktadır. Bu durum Kış aylarında ise kuytu bir alan oluşmasına imkân vermektedir.



Şekil 7. Kocaağılın Tepe Güneyindeki Dolomitik Kalkerler Üzerinde Menengiç (*Pistacia terebinthus*) Topluluğu.

Menengiç (*Pistacia terebinthus*) özellikle Orta Trias-Üst Jura dolomitik kalkerler üzerinde iyi bir gelişme gösterirken Üst Kretase yaşlı kalker, çörtlü kalker ve ofiolit ile Üst Kretase-Alt Paleosen, hazburgit, dünit ve serpantin serileri üzerinde seyrekleşmekte, cılızlaşmakta ve daha bodur bir görünüm kazanmaktadır. Bu tür, daha çok kırmızı kahverengi topraklar ile çıplak kayaların arasında ve çatlaklarında birikmiş olan topraklar üzerinde de tutunabilmektedir. Bu alanda bulunan diğer bir ilginç çalı türü ise Derici sumacı (*Rhus coriaria*) dır. Bu türün Boztaşlı Tepe'nin kuzey yamaçlarında tali vadi sistemleri içerisinde topluluk oluşturduğu görülür (Şekil 8). Sumak bitkisi, coğrafi olarak; Akdeniz ikliminin hakim olduğu kesimlerde yayılış gösterir. Bu bitkinin burada bulunması buranın özel bir ortam olduğuna işaret eder.





Şekil 8. Boztaşlı Tepe'nin Kuzey Kesimlerindeki Vadi Tabanında Yetiştirme İmkânı Bulmuş Derici Sumağı (*Rhus coriaria*).

Ayrıca Meram Dere Vadisi'nde Cehri (*Rhamnus oleoides*), Ova karaağacı (*Ulmus minor*), Dağ muşmulası (*Cotoneaster nummularia*), Anadolu alıcı (*Crataegus orientalis*), Alıç (*Crataegus monogyna*), Kuşburnu (*Rosa canina*), Yabani badem (*Amygdalus orientalis*), Sarı çiçekli yasemin (*Jasminum fruticans*), Çakal eriği (*Prunus spinosa*), Böğürtlen (*Rubus discolor*) gibi çalılar, orman ağaçlarının tahrip edildiği alanlarda yayılış göstermektedir. Bu türler, topluluk oluşturmaktan ziyade dağınık olarak bulunmaktadır. Bunların çoğu step sahalarında bulunan taşlı-çakıllı alanlarda tutunabilen ve özelliğini kaybetmiş türlerden oluşmaktadır. Ayrıca kayalık ve taşlık yerlerde Deniz üzümü (*Ephedra majör*, Şekil 9), Yabani defne (*Daphne oleoides*) gibi türlere de rastlanmaktadır.



Şekil 9. Meram Dere Vadisi'nin Kayalık ve Taşlık Yamaçlarında Gelişme Göstermiş Deniz Üzüümü (*Ephedra majör*).

Meram Dere Vadisi'ni çevreleyen alçak ve yüksek plato sahalarında orman ağaçları, çalılar ve otsu bitkilerden oluşan topluluklar; Ağaçlı Tepe, Boztaşlı Tepe ve Kedigüneyi Tepe ve çevresinde sıklıkla görülmektedir. Orman ağaçları ve çalılar arasında Yabani erik (*Prunus divericata*), Kuşburnu (*Rosa canina*), Ahlat (*Pyrus elaeagnifolia*), Saçlı meşe (*Quercus cerris*; Şekil 10), Tüylü meşe (*Quercus*



*pubescens*; Şekil 11), Katran ardıcı (*Juniperus oxycedrus*), Boylu ardıç (*Juniperus excelca*), Cehri (*Rhamnus oleoides*), Alıç (*Crataegus monogyna*) Karaçam (*Pinus nigra*) yer almaktadır.



Şekil 10. Orman Ağaçları İçerisinde Yer Alan Saçlı Meşe (*Quercus cerris*), Plato Sahalarında Çalı ve Step Bitkiler Arasında Yer Almaktadır.



Şekil 11. Orman Ağaçları İçerisinde Yer Alan Tüğlü Meşe (*Quercus pubescens*), Plato Sahalarında Çalı ve Step Bitkiler Arasında Görülmektedir.

Meram Dere Vadisi ve çevresinde step vejetasyonu, en yaygın vejetasyon tipini oluşturur. Araştırma sahasında alçak dağ stepi hakim durumda olup vadinin doğusundaki dağlık tepelik kesimde 1000-1200 metre yükseklikteki kesimler ile ormansız alanlarda görülmektedir. 1200 metrenin üzerinde yer alan kesimler ise yüksek dağ stebi olarak ele alınabilir. Her iki yükselti katında da bitki örtüsü tahrip olmuş ve saha daha çok step dönüşme eğilimindedir. Sekonder bitkilerin hakim olduğu 1200 metre yüksekliğinin üzerindeki alanlarda meşe ve ardıç topluluklarının kalıntıları yer alır. Bu topluluklar içerisine bazı çalı türleri de iştirak eder. Primer vejetasyonun kalıntıları bu kesimlerde görülmez. Bu kesimler tamamen antropojenik step özelliği gösterir. Otsu formlardaki türler çok yoğun bir yayılışa sahiptir. Alçak dağ stepinin hakim türleri arasında Küre çiçeği (*Globularia orientalis*) ile tüy çiçekli Küre çiçeği (*Globularia trichosantha*) yer almaktadır. Bu türler daha çok taşlık ve kayalık kesimlerde sıklıkla görülürler. Ayrıca toprağı iyi bir şekilde örttüklerinden bu kesimlerde erozyonu azda olsa önleme özelliği taşırlar. Boz ot (*Marrubium parviflorum*), Sığır kuyruğı (*Verbascum sp*), Tuzcul kirpidikeni



(*Acantholimon halophilum*), Keçi geveni (*Astragalus angustifolius*; Şekil 12), Kardikenî (*Acantholimon ulicinum*; Şekil 13), gibi daha bir çok tür step sahasının önemli bitkileridir. Sipil kekiği (*Thymus sipyleus*), Adaçayı (*Salvia cryptantha*), Buzağılık (*Stipa arabica*), Domuz ayrığı (*Dactylis glomerata*), gibi kserofit türler ise stepin önemli türlerini oluşturmaktadır. Yine araştırma sahasında özellikle kaya döküntüleri üzerinde gelişme gösteren Solucan otu (*Pelargonium endlicherianum*)'da dar bir alanda yayılış göstermektedir. Bu türler arasında Hanımeli (*Lonicera etrusca*), Yabani Defne (*Daphne oleoides*), Karamuk (*Berberis crataegina*) gibi çalılar da yer almaktadır.



Şekil 12. Meram Dere Vadi Yamacında (Sinekli Mevkii), Keçi Geveni (*Astragalus angustifolius*).



Şekil 13. Meram Dere Vadi Yamacındaki Taşlık Sahalarda Görülen Kar Dikeni (*Acantholimon ulicinum*).

Meram Dere vadi tabanında 1060-1220 metreler arasında birçok yayvan yapraklı nemcil türün bulunduğu da görülmektedir. Bu türler Meram Dere Vadisi boyunca yayılış göstermektedir. Derede yaz aylarında suyun bulunmaması, bu türlerin gelişimini olumsuz yönde etkilemiştir. Ancak vadinin yer yer daraldığı eşik sahalalarının mikroklima özelliği göstermesi higrofil vejetasyonun nispeten korunmasına neden olmuştur (Şekil 14). Bu kesimlerde daha çok Ak söğüt (*Salix alba*), Kara kavak (*Populus nigra*) Yabani iğde (*Elaeagnus angustifolia*), Doğu çınarı (*Platanus orientalis*), Ceviz (*Juglans regia*), Badem (*Amygdalus orientalis*), Böğürtlen (*Rubus fruticosus*) gibi ağaçların yayılışı görülmektedir. Dere kenarında toprak neminin biraz daha yüksek olduğu kesimlerde ise Kamış (*Phragmites australis*), Adi dişbudak (*Fraxinus excelsior*), Yabani nane (*Mentha spicata*) gibi bitkilerin yayılışı dikkat çekmektedir.





Şekil 14. Meram Dere Vadisi'nde (Sinekli Mevkii Kuzeyi) Gelişme Göstermiş Higrofil Vejetasyonun Genel Görünüşü.

Araştırma sahasında kültür bitkileri yetiştirmek için geniş düzlükler bulunmamaktadır. Ancak Dereaşıklar, Derecami kebir mahallelerinin bulunduğu kesimdeki vadi tabanında meyve ve sebze tarımı yapılmaktadır. Toprak ve su şartlarının elverişli olduğu bu kesimlerde Asma (*Vitis vinifera*), Ak dut (*Morus alba*), Kara dut (*Morus nigra*), Ceviz (*Junglans regia*), Yaban elması (*Malus sylvestris*), Yabani kiraz (*Cerasus avium*) gibi meyve türleri yetiştirilmektedir.

#### 4. Sonuç

Araştırma sahası floristik yapı bakımından ilginç özellikler göstermektedir. Bu özelliklerin ortaya çıkmasında doğal ve antropojenik faktörlerin etkileri görülmektedir. Özellikle Meram Dere Vadisi'nin doğu-batı yönlü uzantılı yüksek dağlık ve platoluk alanlarla çevrili bir yapı oluşturması bu sahanın bir mikroklima özelliği göstermesine yol açmıştır. Bu durum, bitki örtüsünü olumlu yönde etkilemiştir. Akdeniz elementi olan Menengiç (*Pistacia terebinthus*) sıklıkla rastlanan bir tür olarak bu kesimlerde topluluk halinde yer almaktadır. Ayrıca farklı jeolojik dönemlere ait ana kaya üzerinde oluşmuş topraklar, bitki örtüsünün niteliğinin değişmesine neden olmuştur. Menengiç (*Pistacia terebinthus*) ofiolit kayaların bulunduğu kesimlerde daha seyrek ve daha bodurlaşmış olarak gelişirken; kalker, dolomitik kalker anakaya üzerinde hem sayı olarak artmış, hem de daha iyi bir fizyonomiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Araştırma sahasında bitki örtüsü üzerine olumsuz yönde etki eden faktörler içerisinde antropojenik etki ön plana çıkmaktadır. Bu etkilerin başında, Meram Dere Vadisi'nin yerleşim birimlerine yakın olması ve vadinin birçok kesiminin tarım amaçlı kullanılması gelmektedir. Vadinin meyvecilik, bağcılık gibi zirai faaliyetlere uygun olması doğal bitki örtüsünün tahrip olmasına zemin hazırlamıştır. Bu durum bitki örtüsü üzerinde bir dezavantaj olarak ortaya çıkmıştır. Beşeri faktörlerin diğer önemli etkilerinden birisi de sürü otlamacılığıdır. Ayrıca araştırma sahasını oluşturan vadinin içerisinde doğu batı yönlü bir yol güzergâhının bulunması da bitki örtüsünün doğal gelişimini olumsuz yönde etkileyen bir diğer faktördür. Bu şartlar, vadi ve çevresindeki doğal bitki örtüsünün yatay ve dikey yöndeki dağılışı sınırlarının ortaya çıkmasında etkili olmaktadır.

Meram Dere Vadisi ve çevresinde orman, çalı ve step vejetasyonu görülmektedir. Meram Dere vadi tabanında ve yakın çevresinde nemcil; vadi yamaçlarına doğru kurakçıl çalı ve orman; plato yüzeylerinde orman ağaçları, çalı ve step vejetasyonunun yoğunlaştığı görülmektedir.

Orman vejetasyonu, küçük topluluklar halinde özellikle yayvan yapraklıların oluşturduğu yaprak dökken ağaçlardan oluşmaktadır. Bu ağaç türleri arasında Tüylü meşe (*Quercus pubescens*), Makedonya meşesi (*Quercus trojana*) hakim durumdadır. Bazı kesimlerde de meşe toplulukları arasında Katran ardıcı (*Juniperus oxycedrus*), Kokar ardıç (*Juniperus foetidissima*), Dağ muşmulası (*Cotoneaster nummularia*) gibi türler yer almaktadır. Çalı vejetasyonu çeşitli türlerden oluşmaktadır. Özellikle vadinin güney yamaçlarında yayılış gösteren Menengiç (*Pistacia terebinthus*) ilginç bir şekilde bu bölgede bulunmaktadır. Menengiç (*Pistacia terebinthus*) Orta Trias-Üst Jura dolomitik kalkerler üzerinde iyi bir gelişme gösterirken Üst Kretase yaşlı kalker, çörtlü kalker ve ofiolit ile Üst Kretase-alt Paleosen, hazburgit, dünit ve serpantin serileri üzerinde seyrekleşmekte, cılızlaşmakta ve daha bodur bir görünüm kazanmaktadır. Bu tür daha çok

kırmızı kahverengi topraklar ile çıplak kayaların arasında ve çatlaklarında birikmiş olan topraklar üzerinde de tutunabilmektedir. Bu alanda bulunan diğer bir ilginç çalı türü ise Derici sumacı (*Rhus coriaria*) dır. Sumak bitkisi, coğrafi olarak; Akdeniz ikliminin hakim olduğu kesimlerde daha çok yayılış gösterir. Ayrıca Meram Dere Vadisi'nde Cehri (*Rhamnus oleoides*), Ova karaağacı (*Ulmus minor*), Dağ muşmulası (*Cotoneaster nummularia*), Anadolu alıcı (*Crataegus orientalis*), Alıç (*Crataegus monogyna*), Kuşburnu (*Rosa canina*), Yabani badem (*Amygdalus orientalis*), Sarı çiçekli yasemin (*Jasminum fruticans*), Çakal eriği (*Prunus spinosa*), Böğürtlen (*Rubus discolor*) gibi çalılar orman ağaçlarının tahrip edildiği alanlarda yayılış göstermektedir. Bu türler topluluk oluşturmaktan ziyade dağınık olarak bulunmaktadır.

Meram Dere Vadisi ve çevresinde step vejetasyonu, en yaygın vejetasyon tipini oluşturur. Araştırma sahasında step; alçak ve yüksek dağ stepi olmak üzere iki şekilde görülmektedir. Alçak dağ stebi vadinin doğusundaki dağlık tepelik kesimde 1000-1200 metre yükseklikteki kesimler ile ormansız alanlarda görülmektedir. Yüksek dağ stebine 1200 metrenin üzerinde yer alan kesimlerde rastlanır. Her iki yükselti katında da bitki örtüsü tahrip olmuştur ve saha daha çok stepe dönüşme eğilimindedir. Sekonder bitkilerin hakim olduğu 1200 metre yüksekliğinin üzerindeki alanlarda meşe ve ardıç topluluklarının kalıntıları yer alır. Bu topluluklar içerisinde bazı çalı türleri de iştirak eder. Primer vejetasyonun kalıntıları bu kesimlerde görülmez. Bu kesimler tamamen antropojenik step özelliği gösterir. Otsu formlardaki türler çok yoğun bir yayılışa sahiptir. Alçak dağ stepinin hakim türleri: Küre çiçeği (*Globularia orientalis*), Tüy çiçekli küre çiçeği (*Globularia trichosantha*), Boz ot (*Marrubium parviflorum*), Sığır kuyruğu (*Verbascum sp.*), Tuzcul kirpidikeni (*Acantholimon halophilum*), Kardikeni (*Acantholimon ulicinum*), Keçi geveni (*Astragalus angustifolius*), Sipil kekiği (*Thymus sipyleus*), Adaçayı (*Salvia cryptantha*), Buzağılık (*Stipa arabica*), Domuz ayrığı (*Dactylis glomerata*), Solucan otu (*Pelargonium endlicherianum*)'dur.

Meram Dere vadi tabanında 1060-1220 metreler arasında birçok yayvan yapraklı nemcil türün bulunduğu da görülmektedir. Bu türler arasında Ak söğüt (*Salix alba.*), Kara kavak (*Populus nigra*) Yabani ığde (*Elaeagnus angustifolia*), Doğu çınarı (*Platanus orientalis*), Ceviz (*Juglans regia*), Badem (*Amygdalus orientalis*), Böğürtlen (*Rubus fruticosus*) Kamış (*Phragmites australis*), Adi dişbudak (*Fraxinus excelsior*), Yabani nane (*Mentha spicata*) dikkati çekmektedir.

Sonuç olarak Meram Dere Vadisi'nin floristik özelliklerinin şekillenmesinde mikroklima, topografya, anakaya, toprak ve hidrografik şartların yanında antropojenik faktörlerin de etkili olduğu görülmektedir. Vadide menengiç (*Pistacia terebinthus*) bitkisinin topluluk halinde yer alması dikkat çeken bir diğer olaydır. Meram Dere Vadisi'nin sahip olduğu floristik özellikler dikkate alınarak, bu vadinin "Yeşil Vadi" halinde projelendirilmesi gerektiği inancındayız. Bu konuda:

- Doğal bitki örtüsü korunmalı ve geliştirilmeli,
- Altınapa Barajı ile Meram Mesire yeri arasındaki Meram Dere yatağı ıslah edilmeli
- Meram Dere Vadisi ve çevresinde, yerleşim mekanlarına izin verilmemeli,
- Önceden var olan ağıl ve yayla yerleşmeleri korunmalı,
- Meram Dere Vadi tabanını takiben yürüyüş güzergahları belirlenmeli,
- Vadi içerisinde ulaşım, doğaya zarar vermeyecek şekilde düzenlenmeli,
- Vadinin mikroklima özelliği dikkate alınarak Akdeniz ikliminde yetişen bazı bitki türleri yetiştirilmeli,
- Vadinin potansiyel değerleri dikkate alınarak "Yeşil Vadi Projesi" olarak projelendirilmeli. Bu konuda belediyelerden ve üniversitelerden yardım alınmalıdır.

## 5. Kaynakça

- Avcı, M. (1993-96). Göller Yöresi Batı Kesiminde İklim ile Bitki Örtüsü Arasındaki İlişkiler. *Coğrafya Dergisi*, Sayı 4, s.143-216, İstanbul.
- Avcı, M. (1998a), Ilgaz Dağları ve Çevresinin Bitki Coğrafyası I. (Bitki Örtüsünün Coğrafi Şartları), *Coğrafya Dergisi*, Sayı 6, s.137-216. İstanbul.
- Avcı, M. (1998b). Ilgaz Dağları ve Çevresinin Bitki Coğrafyası II. (Bitki Örtüsünün Coğrafi Dağılışı), *Coğrafya Dergisi*, Sayı 6, s.275-344, İstanbul.
- Bozyiğit, R. (2018). *Takkelidağ*. Çizgi Kitabevi Yayın no:834, Konya.
- Bulduk, A.-Tekdere, M.-Topçuoğlu, A.T.-Solak, N., (2006). Konya İli Yerleşim Alanı ve Civarının Jeoloji Ön Raporu, Konya Büyükşehir Belediyesi, KOSKİ, Konya.
- Çetik, R., 1985, *Türkiye'nin Vejetasyonu I. İç Anadolu'nun Vejetasyonu ve Ekolojisi.*, S.Ü. Fen-Ed. Fak. Yay. No:7, Konya.
- Dural, H.-Ekim, T., 1984, Takkalı Dağının (Konya) Florası, *S.Ü. Fen Ed. Fak. Fen Dergisi*, Sayı:3, Konya.
- DSİ IV. Bölge Müdürlüğü (2010). Akım Gözlem Bülteni. Konya.
- Göğer, E., Kırıl, K. (1973). Kızılören Dolayının (Konya'nın Batısı) Genel Stratigrafisi. MTA Rapor No:5204 (Yayınlanmamış). Ankara.
- Güyer, F., Günaydın, A.B., Akbulut, İ., Ak, S., Kurtman, T., Demirci, A.R., Akarsu, B., Emre, Ö., Durdu, M., Karakaş, M., Üyükli, A., Yıldız, H. (1998). Konya İli Çevre Jeolojisi ve Doğal Kaynaklar. MTA Rap. No:42149, Ankara.
- Günel, N. (1998-1999). Keçiboynuzunun Türkiye'deki Coğrafi Yayılışı, Ekolojik ve Floristik Özellikleri. *Marmara Coğrafya Dergisi*, Sayı 2, s.60-74, İstanbul.
- Güngördü, M. (1985). Güney Marmara Bölümü (Doğu Kesimi) Bitki Örtüsünün Coğrafi Şartları, *Coğrafya Dergisi*, Sayı 1, s.77-94, İstanbul.
- Kırbıyıköglü, M., (2003). Konya Havzası'nın Geç Kuaterner Evrimi, İst. Üniv. Sos.Bil. Enst. Coğrafya Anabilim Dalı (Doktora Tezi), İstanbul.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü., (2018). Konya (Alan) İklim Verileri (1975-2017).
- Süzer, C. Kul, H.H. Bilgin, F., (2011). Konya İli Meram İlçesi M28b14d Ve M28b13 Paftalarda İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknolojik Etüt Raporu (Yayınlanmamış), Konya.



- Şenel, M., Dalkılıç, H. (2016). 1/100 000 Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Konya-M 27 Paftası No:227, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütler Dairesi, Ankara.
- Şenel, M., Pehlivan, N. (2016). 1/100 000 Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Konya-M 28 Paftası No:228, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütler Dairesi, Ankara.
- Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Müdürlüğü, (1992). Konya İli Arazi Varlığı, Ankara.
- Orhon, M., Esendal, S., Kazak, M. A. (1991). *Türkiye'deki Barajlar*, Ankara: Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.



# Kimyasal Katkılı Betonların Dayanım Özelliklerine Dayalı Bir Çalışma

Esra Tuğrul Tunç<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9071-774X)

(İlk Geliş Tarihi 11 Kasım 2019 ve Kabul Tarihi 7 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.649737)

**REFERENCE:** Tuğrul Tunç, E. (2019). Kimyasal Katkılı Betonların Dayanım Özelliklerine Dayalı Bir Çalışma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 901-908.

## Öz

Günümüzde beton sektöründe kimyasal katkı kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Kimyasal katkı kullanımı ile beton performansının daha da iyileştirilmesi mümkündür. Kimyasal katkı oranı arttıkça her zaman beton dayanımı artmaz. Üretici firmaların farklı katkı tipleri için önerdikleri optimum kullanım dozajlarına dikkat edilmesi gerekmektedir. Kimyasal katkıların beton durabilitesine olumlu etkisinin yanı sıra işlenebilirliği ve sıkıştırılmasında da fayda sağlamaktadır. Ayrıca, beton geçirgenliğini azaltma ve donma-çözülme dayanımını artırma gibi avantajları da mevcuttur. Bu çalışmada beton üretiminde yüksek oranda su azaltıcı (süper akışkanlaştırıcı) kimyasal katkı kullanılmıştır. Bunun nedeni; bu katkının kıvamı değiştirmeden su miktarını yüksek oranda azaltarak çökme ve yayılmayı yüksek oranda arttırma etkisi oluşturmasıdır. Bu çalışmada üretici firmanın önerdiği oranda söz konusu kimyasal katkı kullanılarak bir dizi beton numunesi hazırlanmıştır. Karışım dizaynı belirlenmiş bu numuneler, kürden sonra beton basınç dayanım testine tabi tutulmuştur. Kimyasal katkının basınç dayanımına etkisini belirleyebilmek için bir dizi de katkı içermeyen referans numunesi dökülmüştür. Böylece katkılı ve katkısız beton numunelerin basınç dayanımları karşılaştırılarak tartışılmıştır. Sonuç olarak, istenen özellikte beton üretmek için uygun katkı tipi ve oranında kimyasal katkı kullanımı ile beton dayanımının iyileştiği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kimyasal Katkı, Mermer Beton, Dayanım Testleri, Referans Numuneler.

## An Experimental Study Based on the Strength Properties of Concrete Containing Chemical Admixture

### Abstract

Today, the use of chemical admixtures has become widespread in the concrete sector. It is possible to further improve the performance of concrete with the use of chemical admixtures. As the chemical admixture ratio increases, the concrete strength does not always increase. It is necessary to pay attention to the optimum contents recommended by the manufacturers for different types of admixtures. As well as the positive effect of chemical admixtures on concrete durability, it also provides benefits in workability and compaction. It also has the advantages of reducing the concrete permeability and increasing the freeze-thaw stability. In this study, a high water reducing superplasticizer as chemical admixture was used in concrete production. This is because; this admixture has the increasing the slump and spreading of concrete at a high ratio without changing the concrete consistency. In this study, a series of concrete specimens were prepared by using the chemical admixture at a certain ratio. These specimens were conducted to concrete compressive and splitting tensile strength tests. In order to determine the effect of the chemical admixture on the concrete strength, a series of reference specimens without admixtures were prepared. Thus, the strength of concrete specimens with admixture and non-admixture were compared and discussed. As a result, it has been determined that the strength of the concrete is improved by the use of chemical admixture at a certain ratio and type of admixture to produce the concrete with the desired properties.

**Keywords:** Chemical admixture, Marble concrete, Strength tests, Reference specimens.

<sup>1</sup> Sorumlu Yazar: Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9071-774X, [esratugrul@firat.edu.tr](mailto:esratugrul@firat.edu.tr))

## **1. Introduction**

Concrete is the most common building material used in many different structures in the construction sector. Since the low cost and easy production of concrete, it is widely used in buildings, roads, bridges, dams, power plants, retaining walls, airports, urban furniture, etc. It is seen to have widespread use in many applications (Topçu et al., 2006). Due to concrete's intensive use, it is observed that the raw material resources such as cement, aggregate and water that form the concrete gradually decrease. Therefore, energy conservation and harmful flue gas emissions must be restricted. Thus, it is recommended to use mineral and chemical admixtures, industrial wastes and alternative materials in concrete production (Tunc, 2019).

Granular building materials such as sand, gravel and crushed stone used in concrete production are called aggregates. Aggregates account for approximately 70% of the total volume of concrete (Tunc and Alyamac, 2019). Therefore, chemical composition, mineralogical structure, petrographic structure and physical properties of aggregates used in concrete production should be investigated well. It is known that all these properties significantly affect the performance, quality, strength and durability of concrete (Taşdemir, 2001).

Advances in technology and science have made chemical admixtures the proposed component of concrete. In today's modern concrete technology, it is almost impossible to produce a high-strength concrete without chemical and mineral admixtures (Felekoğlu et al., 2004). Concrete admixtures are used to improve the performance of concrete by changing some properties of concrete and to make the concrete more economical. Chemical admixtures are used in the production of concrete for increasing the workability of fresh concrete, improving the setting times and increasing the strength and durability of hardened concrete (ACI 212.3R-10, 2010 and Pekmezci et al., 2014). The suitability of the admixtures to be used in concrete should be determined by experiments. A poorly designed concrete mixture cannot be improved by using chemical admixtures, but the performance of a quality concrete can be further improved.

Since the amount of admixture is very small among the other components of the concrete, it can sometimes lead to a major problem in practice to add more amounts of admixture than is proposed during concrete production. In such cases, the slump value of the concrete increases excessively and the concrete loses its stability and can decompose. The effect of the chemical admixture is not directly proportional to increasing the content of the admixture. For this reason, the optimum contents recommended by the manufacturers for the types of admixtures should be considered (Sağlam and Akman, 2002).

The aim of this study is to determine and compare the properties of fresh and hardened concrete for the concretes with chemical admixture and for reference concrete. For this purpose; using marble aggregates of different sizes, reference concrete specimens and concrete specimens with chemical admixture were prepared for 3 different water cement ratios for constant cement content. The fresh concrete properties of the produced concrete specimens were determined by using a slump funnel. Slump values of the concretes containing chemical admixture were compared with slump values of the reference concretes. Then, a series of 150×150×150 mm concrete specimens were produced for both mixtures. In order to determine the hardened concrete properties of concrete specimens, the specimens were subjected to 28 day compressive strength and splitting tensile strength tests. The results obtained from the related experiments were compared. In addition, the relationship between compressive strength and splitting tensile strength of the concrete specimens was determined. As a result, it has been seen that the performance of concrete improves with the use of chemical admixtures in correct and appropriate ratio.

## **2. Use of Chemical Admixtures in Concrete Production**

In addition to cement, aggregate, water and mineral admixtures, which are the basic materials forming concrete, chemical admixtures are added to the concrete. According to ASTM C125-12, chemical admixtures can be added to the concrete during the concrete production stage, except the water, aggregate, cement and fiber reinforcement materials that form the main components of concrete or mortar. According to TS EN 206, chemical admixtures is added to the concrete in small amounts compared to the cement mass during the mixing process in order to improve properties of fresh and hardened concrete. In TS EN 934-2, many types of admixtures are defined as water reducing admixture, high water reducing admixture, water retaining admixture, air entraining admixture, setting accelerator admixture, setting retarding admixture, water impermeability admixture, plasticizer admixture and superplasticizer admixtures. Superplasticizers are a chemical admixture which reduces the amount of water in the concrete. Super plasticizers enable the properties of the fresh concrete to reach the desired values such as slump and spreading, while at the same time shortening the curing time and increasing the workability at a high rate. Thanks to superplasticizers, concrete with very low water cement ratio can now be produced and consequently it is possible to produce concrete with high strength and durability to environmental effects (TS EN 480-10).

The use of superplasticizers in concrete is very common. These admixtures have been an indispensable component of concrete since the 1960s. Plasticizers have been used to achieve higher strength by reducing the water cement ratio, to reduce the hydration heat of concrete and to reduce the amount of cement to provide easy settlement (Akman, 1987; Yıldırım, 1996). Plasticizers are organic substances that dissolve in water and reduce the surface tension of the water and prevent air agglomeration by dragging air into the concrete (Topçu, 1996). Yazıcı (2003) observed that superplasticizer admixture improves the workability, while the mixing water decreases and the compressive strength increases with the admixture. In Erdoğan (2005)'s study, a sulphonated naphthalene based superplasticizer was used to examine the slump loss of silica fume-substituted concretes, and the slump loss after half an hour was reported to be around 55%. In Alsadey (2012), it is stated that the slump loss of concrete containing a melamine based superplasticizer is around 40%.

The main advantages of superplasticizer admixtures; to increase the workability of the concrete by placing the concrete easily without causing a decrease in the amount of cement and strength, to produce high-strength concrete with normal workability but using less amount of water, to be processed with low cement and to produce concrete of normal strength. Because of these properties, a high water reducing superplasticizer admixture was used in the present experimental study.

### 3. Experimentation

In this experimental study, a mixture aggregate with the largest grain size of 31.5 mm was used by using marble aggregates of different sizes. Saturated surface dry specific weights and water absorption values of the aggregates are given in Table 1. These values are in compliance with the relevant standard TS EN 1097-6. As a result of the grain size analysis tests performed in the laboratory, the grain size curve of the mixture aggregate used in the present study is appropriate according to TS802. Maximum compactness is provided by the curve graph of the mixture falling between A<sub>32</sub>-B<sub>32</sub> standard curves.

**Table 1.** Specific gravity and water absorption values of the marble aggregates

Sizes of marble aggregates	Specific gravity (g/cm <sup>3</sup> )	Water absorption (%)	Mixing ratios (%)
Coarse	2.40	0.9	25
Medium	2.68	1.2	25
Fine	2.72	1.7	50

In the experiments, CEM I 42.5 N Portland cement conform to relevant standard (TS EN 197-1) obtained from cement factory having specific weight of 3.17 g/cm<sup>3</sup> was used. Initial setting time of this cement is 2.7 h and final setting time is 3.8 h. The Blaine specific surface area is 3520 cm<sup>2</sup>/g. According to TS EN 197-1; the compressive strengths of cement mortar for 2 days, 7 days and 28 days are given as 26.8 MPa, 39.1 MPa and 48.6 MPa respectively. Table 2 shows the properties of the high water reducing superplasticizer admixture used in the experimental study.

**Table 2.** The physical properties of the superplasticizer admixture

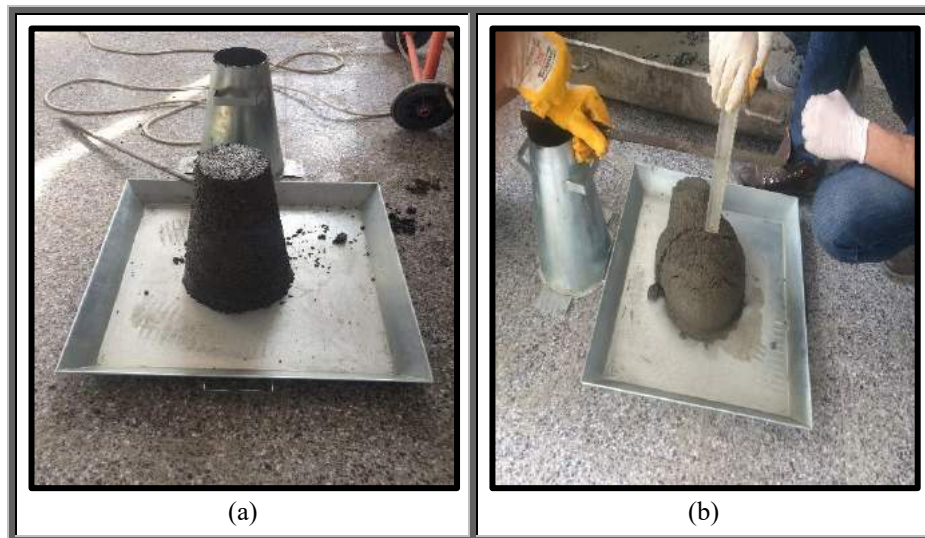
Appearance	Liquid
Color	Brown
Density (gr/cm <sup>3</sup> )	1.075 ± 0.02
pH	4.00 ± 1
Chloride content	< % 0.1
Recommended usage ratio (%)	0.5 – 1.5

In the present experimental study, the effect of chemical admixtures on the fresh and hardened concrete properties of the produced concrete specimens was investigated. In all mixtures, total binder (cement) was kept constant as 400 kg/m<sup>3</sup>. A series of concrete specimens were prepared with and without chemical admixture with water cement ratios of 0.38, 0.40 and 0.42 with the aggregates of different sizes. In the production of concrete containing chemical admixture, superplasticizers were used at 1.2 % of cement weight in the ratios recommended by the manufacturer. Table 3 shows the aggregates, cement and water weights (for 1 m<sup>3</sup>) of different sizes for prepare concrete mixtures containing the marble aggregates. In Table 3, concrete specimens containing the admixture are named AMC and reference concrete specimens are called RMC. The concrete specimens were prepared considering the saturated surface dry weight of the aggregates.

**Table 3.** Mix design of concrete mixture and slump values

	RMC – AMC		
	RMC1 – AMC1	RMC2 – AMC2	RMC3 – AMC3
<i>Cement (kg/m<sup>3</sup>)</i>	400	400	400
<i>Coarse (kg/m<sup>3</sup>)</i>	465.8	460.5	455.2
<i>Medium (kg/m<sup>3</sup>)</i>	468.1	462.8	457.2
<i>Fine (kg/m<sup>3</sup>)</i>	890.7	880.6	870.5
<i>w/c (-)</i>	0.38	0.40	0.42
<i>Slump (cm)</i>	0 - 3	2 - 6	3.5 – 8.0

AMC and RMC concrete mixtures were prepared by using a mixer which can rotate around 1.5 axis/second with its vertical axis with its mixture design given in Table 3. Slump test was performed to determine the fresh concrete properties of AMC and RMC mixtures (Figure 1). For this purpose, truncated funnel in accordance with TS EN 12350-2 standard was used. As shown in Figure 1, the slump values of AMC mixtures (using superplasticizer admixture) showed an increase compared to reference concrete. The slump values of the RMC mixtures ranged from 0 to 3.5 cm, while the slump values of the MC mixtures ranged from 3.0 to 8.0 cm.



**Figure 1.** The determination of the slump values of the concrete mixtures: a) RMC, b) AMC.

42 concrete specimens of 150×150×150 mm were produced to determine the hardened concrete properties of AMC and RMC concrete mixtures. The respective concrete specimens were placed in a curing pool at a temperature of 23 ± 2 °C and subjected to a 28-day. Cured specimens were subjected to strength tests to determine the hardened concrete properties. In this context, compressive strength test for 12 concrete cube specimens of 150×150×150 mm according to TS EN 12390-3 standard for AMC concretes. The application of compressive strength test was shown in Figure 2a. Splitting tensile strength tests were conducted in accordance with TS EN 12390-6 standard for 9 cube specimens of the same size. The application of splitting tensile strength test was shown in Figure 2b. The same experiments were repeated for RMC specimens (i.e. 12 compressive strength tests and 9 splitting tensile strength tests). The appearance of the specimens after the experiments are given in Figure 2c.



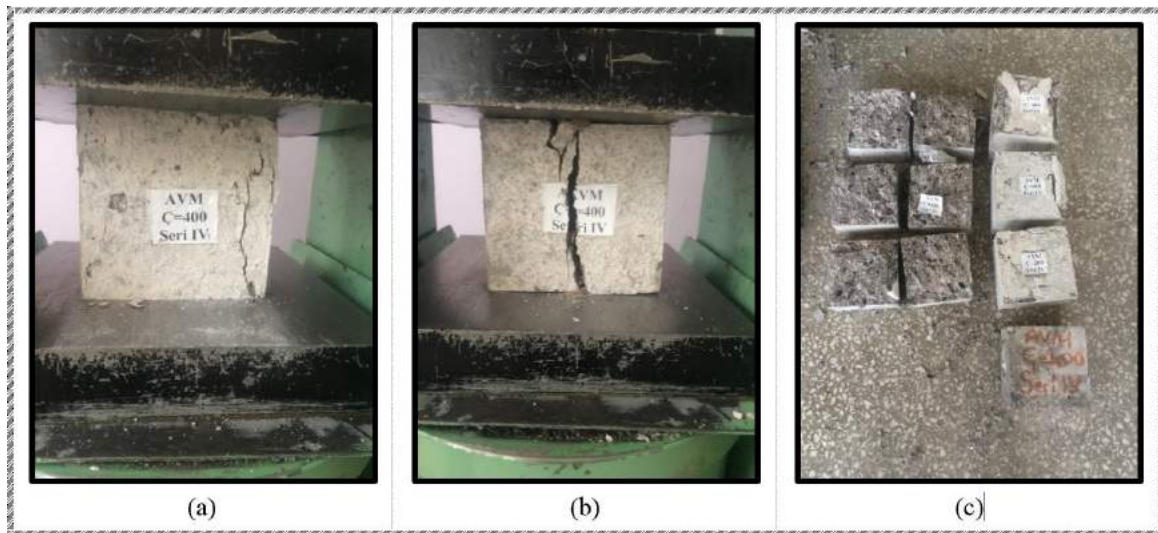


Figure 2. (a) Compressive strength test; (b) Splitting tensile strength test; (c) Appearance of specimens after the experiments

#### 4. Analysis of Experimental Results

Within the scope of the present study, the effects of chemical admixture on fresh and hardened concrete properties were investigated by considering related admixture. The use of a highly water reducing superplasticizer admixture to achieve high strength from concrete appears to be appropriate by the literature (Tunç et al., 2018). In this study, a series of reference marble concrete (RMC) were prepared with a certain mixture design (Table 3). In addition, a series of marble concrete with chemical admixture (AMC) were prepared using almost the same mixture design (Table 3) with the recommended ratio of superplasticizer admixture (1.2%). In general, it has been concluded that the fresh and hardened concrete properties improved by using chemical admixture.

Figure 3 shows that the slump values of all AMC specimens are higher than the slump values of RMC specimens. The slump values of the AMC specimens appear to be sufficient to obtain a concrete suitable for use. It can be said that AMC specimens can be settlement more conveniently than RMC specimens.

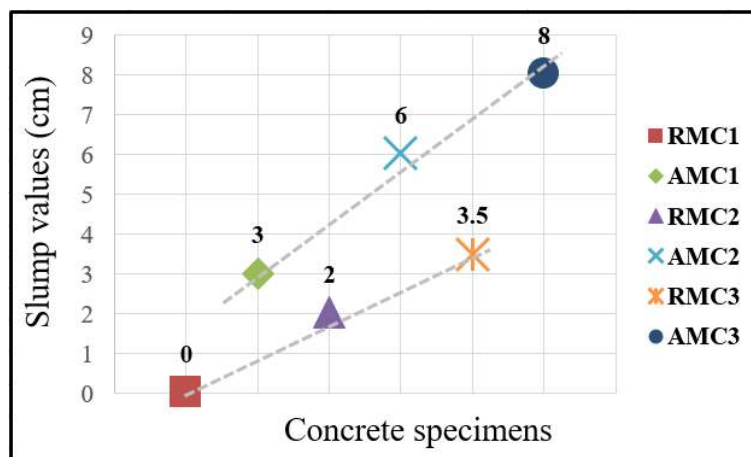


Figure 3. Slump values of the concrete specimens

The concrete specimens were prepared for 3 different water cement ratios (0.38, 0.40, 0.42). It seen that compressive strength of the all specimens decreases with increasing water cement ratio (Figure 4). This result is consistent with the literature (Tunç, 2018). The decreases in compressive strength of RMC specimens were found to be higher than AMC specimens. For RMC specimens, it was obtained that 6% decrease in compressive strength with increasing  $w/c$ =from 0.38 to 0.40 and 16% decrease in compressive strength with increasing  $w/c$ =from 0.40 to 0.42. For AMC specimens, it was obtained that 3.5% decrease in compressive strength with increasing  $w/c$ =from 0.38 to 0.40 and 10% decrease in compressive strength with increasing  $w/c$ =from 0.40 to 0.42. It was determined that there was an average of 9.2% difference between the compressive strengths of RMC and AMC specimens for  $w/c$ =0.38, about 11.7% difference for  $w/c$ =0.40, and about 17.3% difference for  $w/c$ =0.42. As can be seen, it is concluded that the chemical additive significantly improves the compressive strength of the concrete specimens.

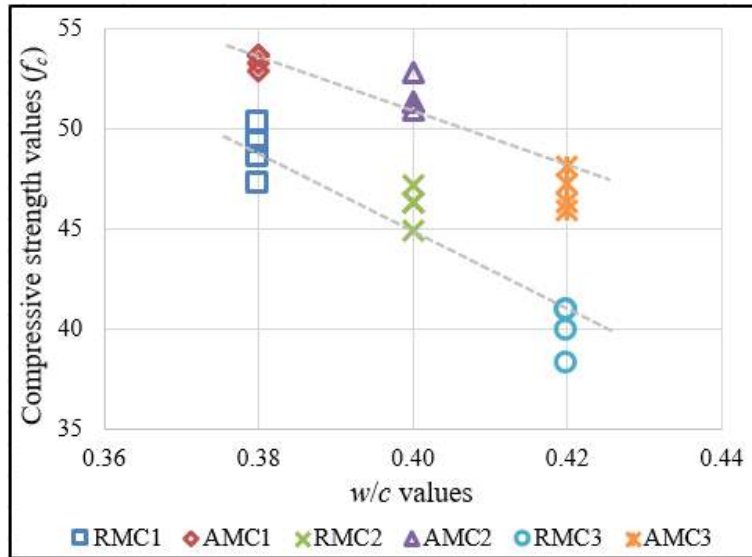


Figure 4. Variation of compressive strength with w/c values for RMC and AMC specimens

It is presented the splitting tensile strength test results (another hardened concrete property) in Figure 5. Accordingly, it is seen that there is a tendency to decrease in compliance with the compressive strengths. It is seen that RMC and AMC specimens have very similar decreasing tendencies for splitting tensile strength values. It was determined that splitting tensile strength of all specimens decreased with increasing water cement ratio. For RMC specimens, it was obtained that 7% decrease in splitting tensile strength with increasing w/c=from 0.38 to 0.40 and 11% decrease in splitting tensile strength with increasing w/c=from 0.40 to 0.42. For AMC specimens, it was obtained that 9% decrease in splitting tensile strength with increasing w/c=from 0.38 to 0.40 and 7.5% decrease in splitting tensile strength with increasing w/c=from 0.40 to 0.42. It was determined that there was an average of 6.8% difference between the splitting tensile strengths of RMC and AMC specimens for w/c=0.38, about 4.9% difference for w/c=0.40, and about 8.2% difference for w/c=0.42. It was determined that the highest increase in compressive strength and splitting tensile strength of concrete specimens was observed for w/c=0.42. As can be seen, it is concluded that the chemical additive significantly improves the splitting tensile strength of the concrete specimens.

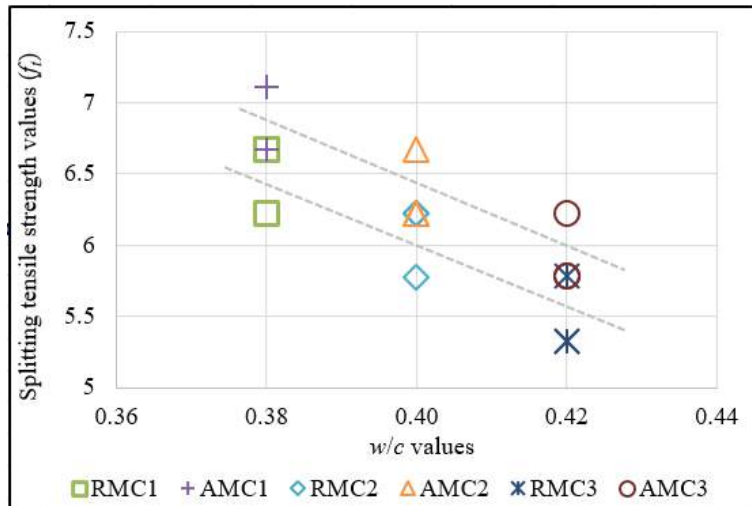


Figure 5. Variation of splitting tensile strength with w/c values for RMC and AMC specimens

A good correlation was found between the mean compressive strength values and the mean splitting tensile strength values. Since the correlation coefficient is  $R^2=0.88$ , this interpretation can be made with confidence. As compressive strength and splitting tensile strength are the most important hardened properties of concrete. These values change in direct proportion with each other in Figure 6.

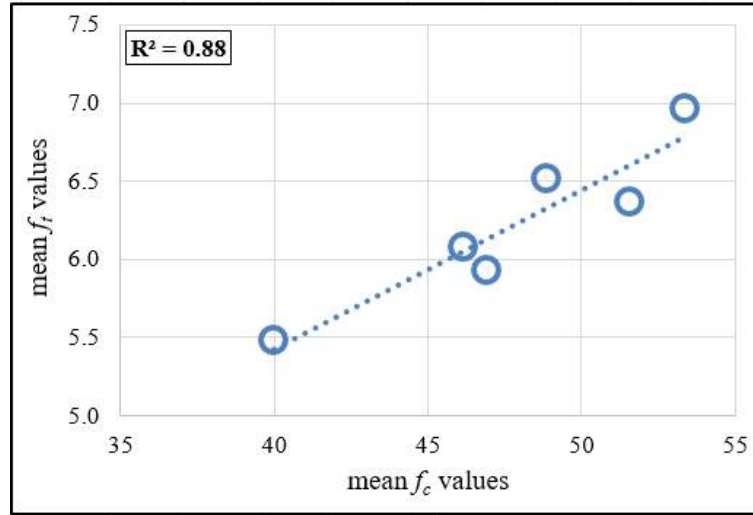


Figure 6. Relationship between mean compressive strength values and mean splitting tensile strength values

## 5. Conclusions

The conclusions obtained from this experimental study, which investigated the effect of appropriate chemical admixture on the properties of fresh and hardened concrete by using it appropriately in concrete, are given below.

- If high strength is required in concrete, it is appropriate to use a high water reducing superplasticizer admixture as a chemical admixture.
- As the water cement ratio increases, the strength of the concrete containing chemical admixture (AMC) decreases less than the reference concrete (RMC).
- The slump values of concrete, which is the characteristic of fresh concrete, give a direct idea about concrete strength.
- It is seen that the fresh and hardened concrete properties of the RMC specimens are significantly improve.
- It has been concluded that it is possible to produce high-strength concrete by using suitable chemical additives according to the purpose of use.
- It was observed a very good correlation between compressive strength and splitting tensile strength values.

## 6. References

- ACI 212.3R-10, 2010. "Report on Chemical Admixtures for Concrete", American Concrete Institute, 65p.
- Akman, M. S. (1987). Beton Katkı Maddelerinin Ana İşlevleri ve Yan Etkileri. İTÜ. İnşaat Fakültesi, Malzeme Seminerleri, İstanbul.
- Alsadey, S. (2012). Influence of superplasticizer on strength of concrete. International Journal of Research in Engineering and Technology, 1(3), 164-166.
- ASTM C125-12, 2012. Standard terminology relating to concrete and concrete aggregates. ASTM International.
- Erdoğu, Ş. (2005). Effect of retempering with superplasticizer admixtures on slump loss and compressive strength of concrete subjected to prolonged mixing. Cement and Concrete Research, 35(5), 907-912. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.08.020>
- Felekoğlu, B., Türkel, S. and Baradan, B. (2004). Kendiliğinden yerleşen beton: Bölüm-1 genel tanıtım, kullanım alanları. TMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, Haber Bülteni, 5, 20-24.
- Pekmezci, B. Y. and Atahan, H. N. (2014). Kimyasal ve nano katkıları: betonda kullanımı ve beton performansına etkileri. Hazır Beton Dergisi, Mayıs-Haziran, 69-82. <https://www.thbb.org/media/2033/makale123.pdf>
- Sağlam, A. R. And Akman, M. S. (2002). Yüksek Performanslı Betonlarda İşlenebilme Açısından Çimento ve Süper Akışkanlaştırıcı Katkının Uyumu. Sika Teknik Bülten, 3-9.
- Taşdemir, C. (2001). Agregalı Tür ve Boyutunun Beton Performansına Etkisi. THBB Hazır Beton Mart-Nisan.
- TS EN 197-1, 2002. Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim. Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 206:2013 + A1 (2017). Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 480-10 (2001). Kimyasal Katkılar-Beton, Harç ve Şerbet İçin- Deneysel Metotları- Bölüm 10: Suda Çözünbilir Klorür Muhtevası Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 802, 2016. Beton Karışımı Hesap Esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 934-2+A1 (2013). Kimyasal Katkılar – Beton, Harç ve Şerbet İçin – Bölüm 2: Beton kimyasal katkıları - Tarifler, gerekler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-6, 2000. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm, 6. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS EN 12350-2, 2002. Beton – Taze Beton Deneyleri- Bölüm 2: Çökme (Slamp) Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- TS EN 12390-3, 2003. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-6, 2010. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Topçu, İ. B. (1996). Akışkanlaştırıcı ve Dona Dayanım Katkılarının Beton Özelliklerine Etkisi, TMMOB, İMO, 4. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, 45-54.
- Topçu, İ. B., Canbaz, M. and Karakurt, C. (2006). Beton Üretiminde Kimyasal Katkı Kullanımı. Politeknik Dergisi, 9(1), 59-63. [https://dergipark.org.tr/tr/pub/politeknik/issue/33019/367084#article\\_cite](https://dergipark.org.tr/tr/pub/politeknik/issue/33019/367084#article_cite)
- Tunç, E. T., Alyamaç, K. E., Ragıp, İ.N.C.E. and Ulucan, Z. Ç. (2018). Investigation of mechanical properties of high-performance lightweight concrete with pumice aggregate. Engineering Sciences, 13(4), 344-353. <http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2018.13.4.1A0425>
- Tunç, E. T. (2018). Strength Properties of Hardened Concrete Produced with Natural Aggregates for Different Water/Cement Ratios. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (14), 280-287. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/608033>
- Tunc, E. T. 2019. Recycling of marble waste: A review based on strength of concrete containing marble waste. Journal of environmental management, 231, 86-97, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.034>.
- Tunc, E. T. and Alyamac, K. E. (2019). A preliminary estimation method of Los Angeles abrasion value of concrete aggregates. Construction and Building Materials, 222, 437-446, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.176>
- Yazıcı, Ş. (2003). Süper Akışkanlaştırıcıların Betondaki Bazı Fiziksel Ve Mekanik Özelliklere Etkileri, DEÜ Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt:5 Sayı: 1. <http://acikerisim.deu.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/20.500.12397/2605/13-10.pdf?sequence=1>
- Yıldırım, H., Yorulmazel, V. and Ardaç, E. (1996). Süper ve Normal Akışkanlaştırıcı Katkıların Çimento ile Uyuşumu, İMO, 4. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, 25-33.



# Kompost Mikrobiyal Yakıt Hücreleri İçin Titanyum Elektrot Performansının İncelenmesi

Nurettin Çek<sup>1\*</sup>, Ahmet Erensoy<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6120-9228)

<sup>2</sup> Fırat Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Parazitoloji Bölümü, Elazığ, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6300-1105)

(İlk Geliş Tarihi 12 Kasım 2019 ve Kabul Tarihi 6 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.650717)

**ATIF/REFERENCE:** Çek, N., & Erensoy, A. (2019). Kompost Mikrobiyal Yakıt Hücreleri İçin Titanyum Elektrot Performansının İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 909-915.

## Öz

Mikrobiyal yakıt hücresi, hem atıksu arıtımı hem de elektrik üretiminin aynı anda gerçekleştiği güzel bir enerji üretim teknolojisidir. Yeşil enerjiye olan talep artıyor ve mikrobiyal yakıt hücreleri gibi biyoelektrokimyasal cihazlar bu amaç için kullanılabilir. Kompost mikrobiyal yakıt hücresi, kompost malzemelerden elektrik enerjisi üretmenin umut verici bir yoludur. Bir kompost mikrobiyal yakıt hücresinde, organik kompost malzemeleri, mikrobiyal yakıt hücresindeki bakterilerle ayrışır ve organik materyallerdeki mikrobiyal etki ile biyoenerji üretmek için kullanılır. Kompost malzemelerinden salınan organik madde, organik maddelerin yakınında toprakta bulunan bakteriler tarafından elektronlara ve protonlara dönüştürülür. Elektronlar, anot elektrottan ve dış devreden katot elektrotuna gider. Protonlar, elektrolit aracılığıyla katot elektrotuna gider. Elektronlar, protonlar ve havadan gelen oksijen katod elektrodunda birleşir. Böylece, mikrobiyal yakıt hücresi elektrik enerjisi ve su üretir. Bu çalışmada, farklı miktarlarda organik kompost malzemelerle beslenen, elektrotlar olarak titanyum plakaları olan, tek odacıklı, membransız mikrobiyal yakıt hücreleri 10 gün boyunca çalıştırıldı. Ağırlıkça % 1, % 10 ve % 20 kompost malzemeleri içeren mikrobiyal yakıt hücreleri, sırasıyla, MYH-I, MYH-II ve MYH-III olarak adlandırılmıştır. Elde edilen maksimum enerji, 4.025 mW/m<sup>2</sup> değerinde bir maksimum güç yoğunluğu ile ifade edildi ve bu değer MYH-III'e aittir. Kompost mikrobiyal yakıt hücrelerinin açık devre gerilimleri (Voc) 10 günlük çalışma sırasında zamanla değişir. MYH I, MYH-II ve MYH-III'ün en yüksek açık devre gerilimleri sırasıyla 375 mV, 380 mV ve 383 mV olarak ölçülmüştür. Bu çalışmada mikroskop görüntüleri ile görüntülenen *coccus* türü bakteriler, MYH-I, MYH-II ve MYH-III için biyokatalizör görevi gördü. Bu çalışma, titanyum elektrotların kompost mikrobik yakıt hücreleri için elektrik üretme kabiliyetine sahip olduğunu göstermiştir. İlaveten, titanyum elektrotlarının karbon bezi, grafit, grafen oksit gibi elektrotlara alternatif bir elektrot olduğu bulunmuştur.

(Minimum 250 – Maksimum 400 kelime ve içeriğinde amaç, materyal-metot, bulgular ve sonuç kısımlarını içerecek şekilde yazılmalıdır.)

**Anahtar Kelimeler:** Mikrobiyal yakıt hücresi, Titanyum, Organik malzeme, Kompost.

\* Sorumlu Yazar: Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye, ORCID: 0000-0001-6120-9228, [nurettincek001@gmail.com](mailto:nurettincek001@gmail.com)



# Examination of Titanium Electrode Performance for Compost Microbial Fuel Cells

## Abstract

Microbial fuel cell is a nice energy production technology where both wastewater treatment and electricity generation take place concurrently. There is increasing demand for green energy, and bioelectrochemical devices, such as microbial fuel cells, can be used for this goal. The compost microbial fuel cell is one promising way to produce electrical energy from compost materials. In a compost microbial fuel cell, organic compost materials are decomposed with the bacteria at the microbial fuel cell and used to generate bioenergy by the microbial action on organic materials. The organic matter released through from compost materials is converted into electrons and protons by the bacteria present in soil near the organic materials. The electrons are go to to cathode electrode through from anode electrode and the external circuit. Protons are go to the cathode electrode through the electrolyte. The electrons, protons, and oxygen from air combine in the cathode electrode. Thus, the microbial fuel cell produces electrical energy and water. In this study, the single chambered, non-membrane microbial fuel cells with titanium plates as electrodes, fed with the different quantities organic materials of compost, were run for 10 days. Microbial fuel cells containing 1%, 10% and 20% by weight of compost materials were named as MYH-I, MYH-II and MYH-III, respectively. The maximum energy obtained was expressed by a maximum power density of 4.025 mW/m<sup>2</sup> value and this value belongs to MYH-III. The open circuit voltages (Voc) of compost microbial fuel cells varies over time in 10 days of operation. The highest open circuit voltages of MYH I, MYH-II and MYH-III were measured as 375 mV, 380 mV and 383 mV, respectively. In this study, *coccus* type bacteria, which were imaged with microscope images, acted as biocatalysts for MYH I, MYH-II and MYH-III. This study demonstrated that titanium electrodes has the ability to produce electricity for compost microbial fuel cells. In addition, titanium electrodes have been found to be an alternative electrode to electrodes such as carbon cloth, graphite, graphene oxide.

(Minimum 250 - Maximum of 400 words and content should be written in a way to include material, method, findings and results.)

**Keywords:** Microbial fuel cell, Titanium, Organic materials, Compost.

## 1. Giriş

Küresel ısınma ve çevrenin bozulması, küresel nüfus ve ekonomideki sürekli büyüme nedeniyle artan fosil yakıt kullanımı ile birlikte artmaktadır (Baykara (2018)). Avrupa Birliği, 2020 yılına kadar toplam enerji tüketiminin % 20'sini yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak karşılamayı hedeflemektedir. 2013 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin, elektrik tüketimine katkısı % 25.4 olup burada biyokütle ve atıklar en önemli enerji kaynakları olmuştur (Garita-Meza ve ark. (2018)). Biyokütle enerjisi temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır (Çek (2013)).

Organik atık malzemenin biyoelektrik üretimi yapılarak geri kazanımı, hem gelişmiş ülkelerde hem de gelişmekte olan ülkelerde önemli bir konu haline gelmiştir. Örneğin; Japonya'daki gıda endüstrisi ve mutfak çöplerinden yıllık yaklaşık 20 milyon ton organik atık üretilmektedir (Moqsud ve ark (2013)). Mikrobiyal yakıt hücreleri kullanılarak organik atıklardan veya atık sulardan elektrik üretmek için bazı araştırmalar yapılmıştır. Denizlerdeki organik madde çökeltileri, pirinç çeltik tarlaları, kompostlanmış mutfak atıkları, kompostlanmış toprak, kavak ağacı gibi bitkisel malzemeler mikrobiyal yakıt hücrelerinde elektrik enerjisi üretmek için kullanılmışlardır (Çek (2016a); Çek (2017); Erensoy ve Çek (2018); Moqsud ve ark. (2015)). Organik maddenin enerji içeriği, organik maddenin bakteriler tarafından parçalanma performansı, elektrotların bakterilerle uyumluluğu, elektrotların elektriksel ve korozyon dirençleri gibi faktörler mikrobiyal yakıt hücrelerinin elektrik üretim performansını etkileyen temel unsurlardandır (Pareek ve ark. (2019)).

Mikrobiyal yakıt hücreleri, yeşil ve yenilenebilir elektrik enerjisi üretimi için kullanılan cihazlardan birisidir. Mikrobiyal yakıt hücreleri biyoenerji tabanlı gelişmekte olan bir teknoloji olup onların sayesinde organik maddelerin sahip olduğu biyoelektrokimyasal enerji bakterilerin kataliz tepkimeleri vasıtasıyla doğrudan elektrik enerjisine çevrilmektedir (Çek (2016a); Çek (2017); Erensoy ve Çek (2018); Moqsud ve ark. (2013); Maqsud ve ark. (2015)). Bir biyoelektrik uygulaması olan mikrobiyal yakıt hücreleri elektrik üretirken aynı zamanda atık su arıtımı yapabilmekte olduğu için çevre üzerindeki karbon ayakizini düşürme potansiyeline sahiptir (Pareek ve ark. (2019)). Mikrobiyal yakıt hücrelerinin uzun süreli ve yerinde çalışma özelliklerinden dolayı sıcaklık, krom (VI) konsantrasyonu, mikrobiyal metabolizma gibi çevresel ve ekolojik koşulların gerçek zamanlı olarak algılanmasını sağlayan kablosuz sensörler olarak kullanıldığı bildirilmiştir (Wang ve Jiang (2019)).

Kompost bazlı mikrobiyal yakıt hücreleri temel olarak atık sudaki kirlenmenin giderilmesine ve daha yakın zamanda organik katı atıkların kompost haline getirme işlemlerinin geliştirilmesine odaklanmıştır (Garita-Meza ve ark. (2018)). Karbon bez elektrotların kullanıldığı kompost mikrobiyal yakıt hücresi ile ilgili yapılan bir araştırmaya göre komposttan tek başına elde edilen en yüksek elektriksel güç yoğunluğunun 4 mW/m<sup>2</sup> değerinde olduğu ve bu değer kullanımabilirlik yönüyle çok düşük olduğu ifade edilmiştir (Nandy ve ark. (2015)). Bununla birlikte, kolay temin edilebilen, bahçe kompostu gibi patojenik olmayan malzemeler mikrobiyal yakıt hücrelerinde kullanıldığında bir ev ortamı için enerji ihtiyacının bir kısmını karşılamak için kullanılabilir. Dahası, bu yaklaşım yeşil elektrik kullanımına izin vereceği ve gerçek ekolojik eğilimlerle tutarlı olduğu ifade edilmiştir (Garita-Meza ve ark. (2018)).

Bu çalışmada, toprak içerisine farklı oranlarda bitki ve hayvan artıklarından elde edilen kompost yerleştirilmiş ve organik bir karışım oluşturulmuştur. Sonra, bu karışımdaki organik malzemelerden faydalanarak elektrik üreten kompost mikrobiyal yakıt hücresi imal edilmiştir. Bu mikrobiyal yakıt hücrelerinde, titanyum esaslı elektrot malzemelerinin elektriksel, kimyasal, mikrobiyal özelliklere ve güç üretim performansına etkisi ortaya çıkarılmıştır. Daha sonra, bu çalışma önceki çalışmalarla kıyaslanmış ve farklar ortaya konulmuştur.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Titanyum levha elektrot; %99.9 saflıkta, 53.38 gram ağırlığında, 8 cm uzunluğunda, 3 cm genişliğinde ve 0.5 cm kalınlığındadır (8 cmx3 cmx0.5 cm=12 cm<sup>2</sup>). Dijital multimetre (UNI-T:UT61C); doğru akım volt ve akım değerlerini ölçer. Direnç; 10-220000 ohm (Ω). Plastik kap; kesik koni şeklinde olup 7 cm yüksekliğinde, üst çapı 6 cm ve alt çapı 4 cm'dir. Mikroskop (SOIF, BK5000-TR/L).

### 2.2. Metot

3 adet plastik kabın her birinin içerisine 50 gram doğal toprak yerleştirilmiş ve sırasıyla toprak ağırlığının % 1'i, % 10'u ve %20'si kadar bitki ve hayvan atıklarından oluşmuş organik kompost malzeme yerleştirilmiştir. Toprak içeren plastik kapların içersinde % 1, % 10 ve %20 oranında kompost malzeme içeren hücreler, sırasıyla MYH-I, MYH-II ve MYH-III olarak adlandırılmıştır. Daha sonra, her bir plastik kap içerisine birer adet titanyum anot elektrot ve birer adet titanyum katot elektrot yerleştirilmiştir. Tüm hücreler içerisine 50 mililitre su eklenerek elektrokimyasal tepkimelerin başlanması sağlanmıştır. Böylece üç tür mikrobiyal yakıt hücresi ortaya çıkarılmıştır. Daha önceki çalışmalarda olduğu gibi, bu mikrobiyal yakıt hücreleri iç dirençlerinin daha az olması ve güç yoğunluklarının daha yüksek olması için membransız ve tek odacıklı olarak imal edilmiştir (Çek (2017); Erensoy ve Çek (2018); Florio ve ark. (2019)). Ayrıca bu çalışmadaki mikrobiyal yakıt hücrelerinin titanyum katot elektrotları ihtiyaç duydukları oksijeni havadan sağlamaktadırlar.

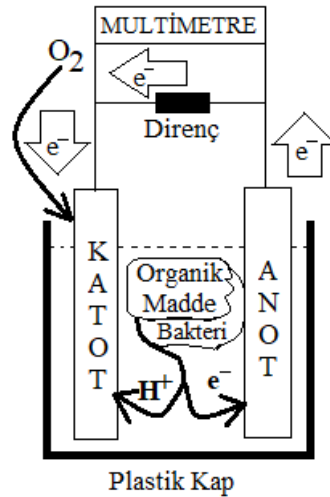
Mikrobiyal yakıt hücrelerinin açık devre gerilimi (Voc) ve kısa devre akımı (Isc) değerleri multimetre cihazıyla zamana göre izlenmiştir. Mikrobiyal yakıt hücresi sabit açık devre voltajı ve sabit kısa devre akımı ürettiğinde 10-220000 Ω dış direnç ve multimetre kullanılarak kutuplaşma (polarizasyon) eğrisi elde edilmiştir. Mikrobiyal yakıt hücrelerinin güç yoğunluğu eğrisi denklem (1) kullanılarak oluşturulmuştur.

$$\text{Güç yoğunluğu} = \frac{V \times I}{S} \quad (1)$$

Burada, V kutuplaşma eğrisindeki gerilim değerini (V), I kutuplaşma eğrisindeki akım değerini (A) ve S anot elektrotun geometrik yüzey alanını (m<sup>2</sup>) ifade etmektedir.

Daha sonra mikrobiyal yakıt hücresinin elektrik üretim performansı tespit edilerek daha önceki çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Ayrıca kompost mikrobiyal yakıt hücresi için hem kimyasal analizler hem de mikrobiyal analizler yapılmıştır.

Bahsedilen mikrobiyal yakıt hücresinin şematik diyagramı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Mikrobiyal yakıt hücresi deney düzeneği

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

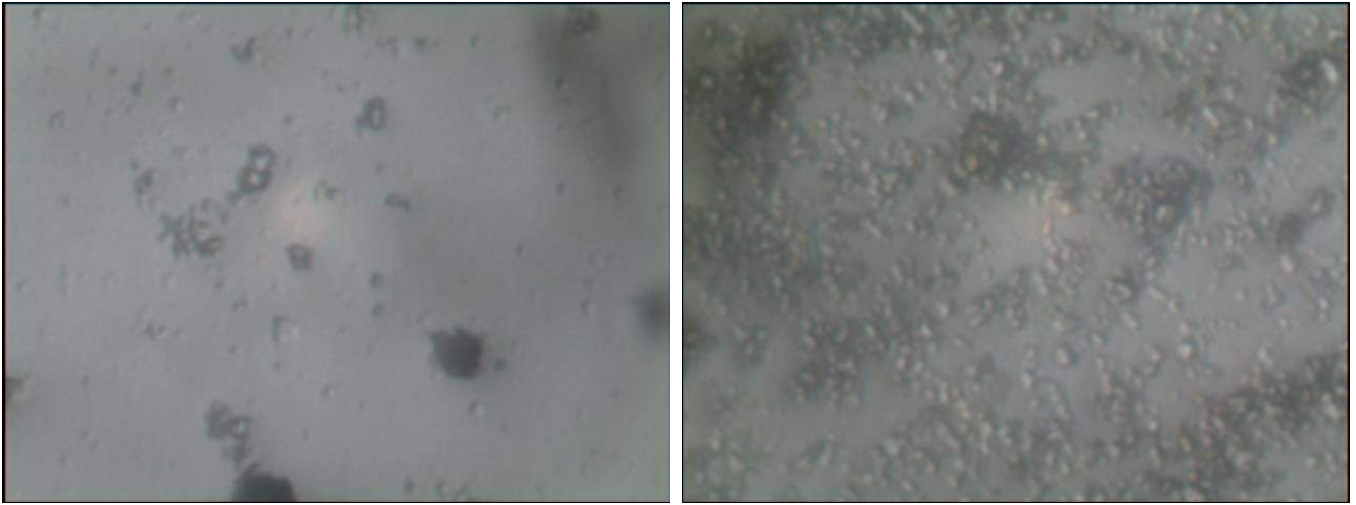
### 3.1. Kimyasal ve mikrobiyolojik analiz

Bu çalışmadaki mikrobiyal yakıt hücrelerinde hem anot elektrot hem katot elektrot olarak titanyum levha elektrotlar kullanılmıştır. Titanyum elektrotlar yüksek korozyon direncine sahip biyoyumlu malzemelerdir (Güven (2014)). Bu çalışmadaki

mikrobiyal yakıt hücrelerinin titantum katot elektrotları ihtiyaç duydukları oksijeni havadan temin ettikleri için hava katot olarak ifade edilir (Florio ve ark. (2019)).

Kompost; çeşitli bitki ve hayvan artıklarının doğada bakteriler tarafından ayrıştırılması sonucu ortaya çıkan organik bir maddedir. Kompostlanmış toprak ise organik madde bakımından zengin olan topraktır. Bu çalışmadaki kompost mikrobiyal yakıt hücresinde sulu bir kompostlanmış toprak kullanılmıştır. Sulu kompostlanmış toprak hem organik madde kaynağıdır hem bakterilerin yaşam alanıdır hem de iyon taşınımının yapıldığı elektrolittir. Kompostlanmış toprak içerisinde bulunan bakteriler komposttaki organik maddeleri ayrıştırmakta ve elektron ve protonları (hidrojen iyonları ( $H^+$ )) açığa çıkarmaktadır (Çek (2016a); Çek (2017); Erensoy ve Çek (2018); Moqsud ve ark. (2013); Maqsud ve ark. (2015)). Elektron, elektriksel ve kimyasal etkileşimi gerçekleştirmektedir ve negatif yüklüdür. Proton, pozitif yüklüdür (Çek (2016b)). Açığa çıkan elektronlar, elektroliti kullanarak anot elektrotta gitmektedirler. Oradan da dış devre yoluyla katot elektrotta gitmektedirler. Protonlar ise elektrolit vasıtasıyla katot elektrotta gitmektedirler. Anottan gelen elektronlar, havadan alınan oksijen ve elektrolit vasıtasıyla gelen protonlar katotta birleşerek yük dengesini sağlamaktadırlar. Böylece, kompost mikrobiyal yakıt hücresi elektrik enerjisi ve su üretmektedir (Çek (2016a); Çek (2017); Erensoy ve Çek (2018); Moqsud ve ark. (2013); Maqsud ve ark. (2015); Pareek ve ark. (2019)).

Bu çalışmadaki, kompostlanmış toprak içerisinde coccus türü bakterileri deneylerden önce ve deneylerden sonra mikroskop görüntülenmiştir. Mikroskop görüntüleri Şekil 2’de gösterilmiştir.



a) Deneylerden önceki görüntüler

b) Deneylerden sonraki görüntüler

Şekil 2. Kompost topraktaki coccus bakterilerinin mikroskop görüntüsü

Şekil 2’deki coccus türü bakteriler çürükçül bakteriler olup kompost toprak içerisinde mevcut olan organik maddeyi ayrıştırma işlemini gerçekleştirmektedirler. Coccus türü bakteriler, organik maddeyi ayrıştırarak organik maddeden elektron ve protonları açığa çıkarmaktadır (Erensoy ve Çek (2018)). Bu nedenle, coccus türü bakteriler, bu çalışmadaki mikrobiyal yakıt hücresi için biyokatalizör görevini üstlenmişlerdir.

### 3.2. Elektrokimyasal analiz

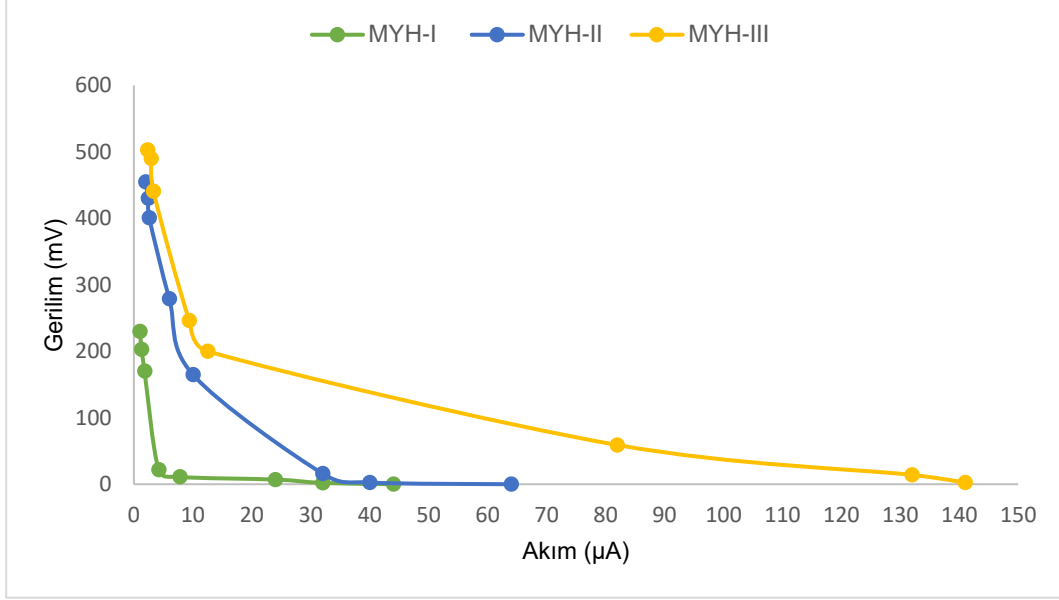
Mikrobiyal yakıt hücrelerinin performansını incelemek için, açık devre potansiyeli ( $V_{oc}$ ) ve kısa devre akımı ( $I_{sc}$ ) değerleri gereklidir. Çünkü bu değerler sabit olduğunda, mikrobiyal yakıt hücrelerine değişken dış dirençler bağlanarak kutuplaşma eğrileri ve güç yoğunluğu eğrileri elde edilir (Maqsud ve ark. (2013); Moqsud ve ark. (2015); Erensoy ve Çek (2018); Pareek ve ark. (2019); Wang ve Jiang (2019)). Kompost mikrobiyal yakıt hücrelerinin açık devre ( $V_{oc}$ ) koşullarında ve kısa devre ( $I_{sc}$ ) koşullarında ürettikleri elektriksel enerji zamana bağlı olarak multimetre cihazı ile ölçüldü ve elde edilen sonuçlar Tablo 1’de mevcuttur.

Tablo 1. Mikrobiyal yakıt hücrelerinin zamana bağlı  $V_{oc}$  ve  $I_{sc}$  değerleri

Zaman (Gün)	MYH-I		MYH-II		MYH-III	
	$V_{oc}$ (mV)	$I_{sc}$ ( $\mu A$ )	$V_{oc}$ (mV)	$I_{sc}$ ( $\mu A$ )	$V_{oc}$ (mV)	$I_{sc}$ ( $\mu A$ )
1.	181	2	138	1.8	176	2.5
2.	230	2.3	239	2.5	248	3
3.	334	1.4	337	2.9	315	3.2
4.	373	1.9	375	2.3	377	3.8
5.	375	2	375	2.4	367	4.1
6.	364	1.7	379	2.8	353	4.4
7.	332	1.5	361	2.7	337	4.3
8.	297	1.4	353	2.3	366	5.1
9.	270	1.2	349	2.2	383	6
10.	270	1.2	349	2.2	383	6

Tablo 1'deki sonuçlara göre kompost mikrobiyal yakıt hücrelerinde, en yüksek açık devre gerilimi ve en yüksek kısa devre akımı değeri MYH-III'tedir ve bu değerler 383 mV ve 6  $\mu$ A olarak ölçülmüştür. Ayrıca, tüm mikrobiyal yakıt hücrelerinde zamana bağlı olarak ilk günden itibaren yükselen Voc ve Isc değerleri MYH-I'de 5. günden itibaren, MYH-II'de 6. günden itibaren azalırken MYH-III'te 10 gün boyunca azalmamış, 9.günden itibaren sabit kalmıştır. Yani, MYH-III daha istikrarlı bir performans sergilemiştir.

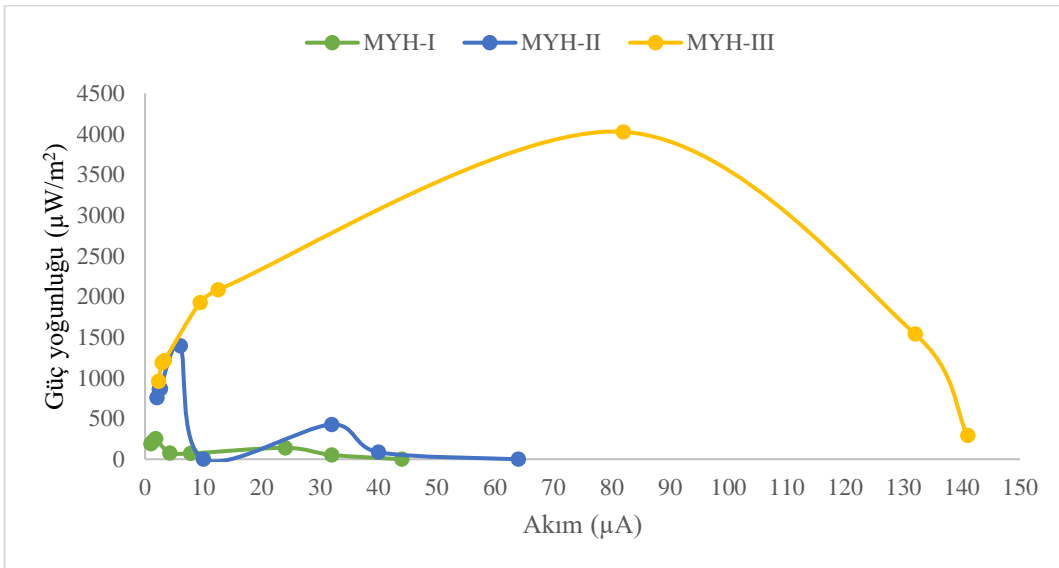
Mikrobiyal yakıt hücrelerini incelerken, kutuplaşma çalışmaları güç kayıplarını tanımlamak için çok yararlıdır. Kompost mikrobiyal yakıt hücreleri, sabit çıkış gerilimi ile sabit akım değeri ürettiklerinde dış direnç değeri 10 ile 220000 ohm ( $\Omega$ ) arasında değiştirilerek multimetre cihazıyla elde edilen kutuplaşma (polarizasyon) eğrisi Şekil 3'te mevcuttur. Bu şekil, kompost mikrobiyal yakıt hücrelerindeki gerilim ve akım arasındaki ilişkiyi gösterir.



Şekil 3. Mikrobiyal yakıt hücrelerinin kutuplaşma eğrileri

Şekil 3'e göre, kompost mikrobiyal yakıt hücrelerinin ürettikleri gerilim değerleri, akım değeri doğrusal değildir. Şekil 3'e göre en yüksek gerilim değerini MYH-III üretmiş olup onu MYH-II ve MYH-I takip etmiştir. Kutuplaşma eğrilerinde MYH-I, MYH-II ve MYH-III'ün ürettikleri en yüksek gerilim değerleri sırasıyla, 230 mV, 455 mV ve 503 mV değerlerindedir. Tablo 1'deki veriler ve Şekil 3 kıyaslandığında, açık devre voltajları (Voc) ve dirençler üzerinde ölçülen voltajlar arasında büyük uçurumlar vardır. Voltaj verileri arasında belirgin bir şekilde ortaya çıkan fark, mikrobiyal yakıt hücrelerinin doğal çalışması nedeniyle ortaya çıkan iç dirençlerden kaynaklanmaktadır (Erensoy ve Çek (2018)). Bu durum, kompost mikrobiyal yakıt hücrelerinde güç kayıpları olduğunu göstermektedir.

Kutuplaşma eğrilerinde elde edilen gerilim değerleri, akım değerleri ve anot elektrot yüzey alanı, denklem (1)'e uygulanarak kompost mikrobiyal yakıt hücrelerinin güç yoğunluğu eğrileri oluşturulmuş ve Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Mikrobiyal yakıt hücrelerinin güç yoğunluğu eğrileri

Şekil 4'e göre, MYH-I, MYH-II ve MYH-III kompost mikrobiyal yakıt hücrelerinin güç yoğunlukları sırasıyla, 255  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ , 1926.66  $\mu\text{W}/\text{m}^2$  ve 4025  $\mu\text{W}/\text{m}^2$  olarak tespit edilmiştir. Görüldüğü gibi, MYH-III en yüksek güç yoğunluğuna sahip olan kompost mikrobiyal yakıt hücresidir. Ayrıca, en istikrarlı güç eğrisini MYH-III göstermiştir. Bu durum, kompost mikrobiyal yakıt hücrelerinde kullanılan organik malzeme miktarı arttıkça güç yoğunluğunun arttığını göstermektedir. Bu çalışmadaki MYH-III kompost mikrobiyal yakıt hücresinin ürettiği en yüksek güç yoğunluğu (4.025  $\text{mW}/\text{m}^2$ ) değerleri, Nandy ve ark. (2015) tarafından yapılan kompost mikrobiyal yakıt hücresinin ürettiği en yüksek güç yoğunluğu (4  $\text{mW}/\text{m}^2$ ) değerinden biraz yüksektir. İki mikrobiyal yakıt hücresi arasındaki göze çarpan en büyük fark elektrot türlerinin farklı olmasıdır. Nandy ve ark. (2015) tarafından yapılan kompost mikrobiyal yakıt hücresinde karbon bez elektrotlar kullanılırken bu çalışmada titanyum levha elektrotlar kullanılmış ve yakın değerlerde güç yoğunluğu elde edilmiştir. Bu durum, titanyum levha elektrotların karbon bez elektrotlar ile benzer elektrokimyasal özellik gösterdiğinin bir göstergesidir. Bunlarla birlikte, Pareek ve ark. (2019) tarafından yapılan mikrobiyal yakıt hücresi çalışmasında yakıt maddesi olarak atık sudaki organik maddeler kullanılmış ve bu mikrobiyal yakıt hücresinde birbirinden bağımsız olarak karbon bez, grafen oksit ve kimyasal olarak indirgenmiş grafen oksit elektrotlar kullanılmıştır. Karbon bez, grafen oksit ve kimyasal olarak indirgenmiş grafen oksit elektrotlar kullanılan çalışmada üretilen güç yoğunluğu değerleri sırasıyla, 0.8  $\text{mW}/\text{m}^2$ , 1.6  $\text{mW}/\text{m}^2$  ve 6  $\text{mW}/\text{m}^2$  olarak ifade edilmiştir (Pareek ve ark. (2019)). Bu çalışmadaki MYH-II ve MYH-III, Pareek ve ark. (2019) tarafından yapılan çalışmadaki karbon bez ve grafen oksit kullanılan mikrobiyal yakıt hücrelerine göre daha yüksek güç yoğunluğuna sahiptir. Bu durum, titanyum elektrotun karbon bez ve grafen oksite alternatif bir elektrot olduğunu göstermektedir. Ayrıca bu çalışma, mikrobiyal yakıt hücresi uygulamaları için kompostlanmış toprağın atık suya alternatif bir organik madde kaynağı (yakıt kaynağı) olduğunu göstermektedir. Florio ve ark. (2019) tarafından yapılan mikrobiyal yakıt hücresi çalışmasında, yakıt kaynağı olarak organik atık ve elektrot olarak grafit plakalar kullanılmış ve kilogram başına en yüksek 1.98  $\text{mW}/\text{m}^2$  güç yoğunluğu elde edilmiştir. Bu çalışmadaki MYH-I, MYH-II ve MYH-III, Florio ve ark. (2019) tarafından yapılan çalışma ile kıyaslandığında MYH-III daha yüksek güç yoğunluğuna sahipken MYH-II ve MYH-I daha düşük güç yoğunluğuna sahiptir, ancak MYH-II'nin de güç yoğunluğu Florio ve ark. (2019) tarafından yapılan çalışmaya yakındır. Bu kıyaslamalara göre, titanyum ile grafit elektrotların benzer performans gösterdiği hatta yüksek organik malzeme varlığında titanyum elektrotlar grafit elektrotlara göre daha etkin elektrokimyasal performans göstermiştir. Bu durum, mikrobiyal yakıt hücrelerinde titanyum elektrotların grafit elektrotlara alternatif bir elektrot olduğunu göstermektedir.

#### 4. Sonuç

Mikrobiyal yakıt hücresi teknolojisi, fosil esaslı yakıt teknolojilerden yenilenebilir enerji sistemlerine geçişte büyük bir potansiyel sunmaktadır. Bu konuda yapılan araştırmalar hızla ilerlemektedir, ancak mikrobiyal yakıt hücresi teknolojilerinin sanayiye ve topluma rutin olarak uyarlanması için hala çok daha fazla ilerleme kat edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmadaki, MYH-I, MYH-II ve MYH-III olarak adlandırılan kompost mikrobiyal yakıt hücrelerinde yapılan elektrokimyasal analizler, organik malzeme miktarının artması ile birlikte mikrobiyal yakıt hücrelerinin güç yoğunluğunun arttığını göstermiştir. Ayrıca, güç eğrilerinde görüldüğü gibi organik malzeme miktarının artışı güç eğrisinde dalgalanmaları (artma ve azalmaları) azaltmış, mikrobiyal yakıt hücrelerinin daha istikrarlı olmasını sağlamıştır. Tüm bunlar, organik malzemelerin mikrobiyal yakıt hücrelerinin çalışabilmesi için en önemli unsurlardan biri olduğunu bir kez daha göstermektedir. Bu çalışmadaki kimyasal ve mikrobiyal analizlere göre, *coccus* türü bakteriler biyokatalizör olarak görev yapmıştır. Bu nedenle *coccus* türü bakteriler, kompost organik malzemeyi ayrıştırarak elektron ve protonları açığa çıkarma işini yapmıştır. Bu durum *coccus* türü bakterilerin çürükçül olduğunu bir kez daha göstermiştir. Ayrıca, bu çalışmadaki mikrobiyal yakıt hücreleri diğer çalışmalarla kıyaslandığında onlardan daha yüksek veya yakın değerlerde güç yoğunluğuna sahiptir. Bu da, *coccus* tipi bakteriler, kompost malzeme ve titanyum elektrotlar arasında bir uyum olduğunu göstermektedir. Buna ilaven, diğer çalışmalarla yapılan kıyaslamalar açıkça gösteriyor ki, mikrobiyal yakıt hücreleri için titanyum elektrotlar, karbon bez, grafen ve grafit elektrotlara göre alternatif bir elektrot malzemesidir.

#### Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleşmesi için gerekli cihaz ve sarf malzemesi desteklerinden ötürü Koç Holding'e, Arçelik'e, TÜPRAŞ'a ve Fethi Gedik'e teşekkür ederiz.

#### Kaynakça

- Baykara, S.Z., 2018. Sulfur Resistant Perovskite Electrocatalysts for High Temperature Applications. *European Journal of Science and Technology*, 13, 98-102.
- Çek, N., 2013. Yeni Biyoenerji Tekniğiyle Elektrik Üretilmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(2), 35-49.
- Çek, N., 2016a. Parçacıklar ve Enerji Kaynakları. Lambert Academic Publishing, 338 s, Saarbrücken, Almanya.
- Çek, N., 2016b. Parçacıklar ve Parçacıkların Enerji Kaynakları Üzerinde Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(7), 1-8.
- Çek, N., 2017. Examination of zinc electrode performance in microbial fuel cells. *Gazi University Journal of Science*, 30(4), 395-402.
- Erensoy, A., Çek, N., 2018. Alternative Biofuel Materials for Microbial Fuel Cells from Poplar Wood. *ChemistrySelect*, 3, 1251-11257.
- Florio, C., Nastro, R.A., Flagiello, F., Minutillo, M., Pirozzi, D., Pasquale, V., Ausiello, A., Toscano, G., Jannelli, E., Dumontet, S., 2019. Biohydrogen production from solid phase-microbial fuel cell spent substrate: A preliminary study. *Journal of Cleaner Production*, 227, 506-511.



- Garita-Meza, M.A., Ramírez-Balderas, L.A., Contreras-Bustos, R., Chávez-Ramírez, A.U., Cercado, B., 2018. Blocking oscillator-based electronic circuit to harvest and boost the voltage produced by a compost-based microbial fuel cell stack. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 29, 164-170.
- Güven, Ş.Y., 2014. Biyouyumluluk ve Biyomalzemelerin Seçimi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 2(3), 303-311.
- Moqsud, M. A., Omine, K., Yasufuku, N., Hyodo, M., Nakata, Y., 2013. Microbial fuel cell (MFC) for bioelectricity generation from organic wastes. *Waste Management*, 33(11), 2465-2469.
- Moqsud, M. A., Yoshitake, J., Bushra, Q.S., Hyodo, M., Omine, K., Strik, D., 2015. Compost in plant microbial fuel cell for bioelectricity generation. *Waste Management*, 36, 63-69.
- Nandy, A., Kumar, V., Khamrai, M., Kundu, P.P., (2015). MFC with vermicompost soil: power generation with additional importance of waste management. *RSC Advances*, 5, 41300-41306.
- Pareek, A., Sravan, J.S., Mohan, S.V., 2019. Exploring chemically reduced graphene oxide electrode for power generation in microbial fuel cell. *Materials Science for Energy Technologies*, 2(3), 600-606.
- Wang, C., Jiang, H., 2019. Real-time monitoring of sediment bulking through a multi-anode sediment microbial fuel cell as reliable biosensor. *Science of The Total Environment*, 697, 1-8.



# Bilgi Teknolojileri ve Üst Yönetim Desteğinin Tedarik Zinciri Performansına Etkisi: Türkiye İçin Ampirik Bir Yaklaşım

Rahmi Baki<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Aksaray Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Aksaray, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0981-5006)

(İlk Geliş Tarihi 13 Kasım 2019 ve Kabul Tarihi 7 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.654828)

**ATIF/REFERENCE:** Baki, R. (2019). Bilgi Teknolojileri ve Üst Yönetim Desteğinin Tedarik Zinciri Performansına Etkisi: Türkiye İçin Ampirik Bir Yaklaşım. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 916-926.

## Öz

Bilgi ve iletişim teknolojisi uygulamaları şirketler için bir vazgeçilmez ve yüksek tedarik zinciri performansının kilit belirleyicileri haline gelmiştir. Tedarik zinciri uygulamalarının başarısının artması için, tedarik zinciri boyunca bilgi teknolojileri faaliyetlerinin uygulanması hayati öneme sahiptir. Bilgi teknolojilerinin ileri düzeyde kullanımı, kurum içinde bilgi akışının, işbirliğinin ve iletişimin artmasına ve böylece tedarik zinciri performansının yükselmesine yol açacaktır. Bununla birlikte, bilgi teknolojilerinin uygulanması ve kullanılmasıyla ilgili üst düzey yönetim desteği, kuruluşlar arası bilgi paylaşımının verimliliğini arttırmakta ve böylece tedarik zinciri performansını üzerinde olumlu bir etki yaratmaktadır. Çalışmada bilgi teknolojileri, iç entegrasyon, üst yönetim desteği ve bilgi paylaşımı arasındaki ilişkiler ve tedarik zinciri performansına etkileri değerlendirilmektedir. Bu değerlendirilmede test edilen hipotezler, SPSS AMOS yazılımında Yapısal Eşitlik Modellemesi kullanılarak Türkiye'deki firmalarda çalışan personellerden toplanan verilerle analiz edilmektedir. Örnekleme, çeşitli sektörlerde çalışan (imalat, tekstil, inşaat, gıda ve lojistik) üst ve orta düzey yöneticilerden, uzmanlardan ve uzman yardımcılardan oluşmaktadır. Öne sürülen yapısal model, 103 çalışandan toplanan verilerle analiz edilmiştir. Bilgi teknolojilerinin iç entegrasyon üzerinde olumlu ve önemli bir etkiye sahip olduğunu gösteren analiz sonuçları, iç entegrasyon ile tedarik zinciri performansı arasında benzer bir ilişki bulunmadığını göstermektedir. Ayrıca, üst yönetim desteğinin bilgi paylaşımını önemli ölçüde ve olumlu yönde etkilediği sonucuna varılmıştır. Buna ek olarak, bilgi paylaşımının tedarik zinciri performansı üzerinde olumlu bir etkisi vardır. Sonuç olarak, bu çalışma tedarik zinciri performanslarını geliştirmek isteyen firmalara rehberlik etmeyi amaçlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Bilgi ve İletişim Teknolojileri, Bilişim Sistemleri, Tedarik Zinciri Yönetimi, Tedarik Zinciri Performansı

## The Impact of Information Technologies and Top Management Support on Supply Chain Performance: An Empirical Approach for Turkey

### Abstract

Applications of information and communication technologies have become indispensable for companies, being key determinants of high supply chain performance. Application of information technologies activities throughout the supply chain is vital for the increased success of supply chain applications. Advanced utilization of information technologies will lead to an increased level of information flow, cooperation and communication within the corporation, leading to integration and hence, a soaring up of supply chain performance. However, top management support regarding application and utilization of information technologies increases the

\* Sorumlu Yazar: Aksaray Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Aksaray, Türkiye, ORCID: 0000-0003-0981-5006, [rahmi.baki@hotmail.com](mailto:rahmi.baki@hotmail.com)

efficiency of inter-organization information sharing, thus, creating a favourable impact over supply chain performance. This study assesses the relations between information technologies, internal integration, top management support and information sharing and their effects on supply chain performance. Hypotheses tested in this assessment are analyzed through data collected from personals working for firms in Turkey, via utilizing the Structural Equation Modelling in SPSS AMOS software. The sample consists of senior executives, mid-level managers, specialists and assistant specialists working in a span of sectors (manufacturing, textiles, construction, food and logistic). The structural model put forward is analyzed via data collected from 103 employees. Results of analyzing showing that information technologies has a positive and significant influence in internal integration whereas no similar relationship is prevalent between internal integration and supply chain performance. Moreover, concludes that top management support significantly and positively affects information sharing. In addition to this, information sharing has a positive effect on supply chain performance. All in all, this study aims to provide guidance for firms pursuing to develop their supply chain performance.

**Keywords:** Information and Communication Technologies, Information Systems, Supply Chain Management, Supply Chain Performance

## **1. Introduction**

As a result of the rapid developments in information and communication technologies, companies have shifted their conventional strategies and as-is processes, since Information Technologies (IT) become a key indicator of successful supply chain management once it is used to integrate the activities of customers and suppliers (Bovel & Martha, 2000). In other words, IT is considered to hold a critical influence in supply chain due to its contribution in improving both the company's performance and the successful execution of its supply chain activities (Jin, 2006).

Information flow, cooperation and communication is expected to be facilitated in companies that utilize IT effectively, allowing corporations to undertake their applications and processes in a synchronized manner and to keep the level of communication and coordination at the maximum. Nevertheless, it should also be put forward that recent literature lacks studies that assess the effect of information and communication technologies on companies' inter-company integration. This study aims to meet this need as it analyzes the relationship between IT and Internal Integration (II).

One can presume that firms which facilitate the integration among and cooperation of their departments will cater for their customers' needs in a more agile manner than their counterparts and shorten their lead time, resulting in the increased efficiency of their supply chain. Similarly, this study suggests that IT will lead into intra-company II, therefore leading to a higher supply chain performance.

Top Management Support (TMS) is a critical factor in the utilization and high performance of information and communication technologies in corporations. Tone-at-the-top, supporting IT usage in various departments and/or hierarchic levels eases the information sharing among the components of the supply chain, resulting in effective, complete and timely communication. In line with this lemma, this analysis also studies the relationship between TMS and IS.

Timely and complete communication and information sharing among the members of the supply chain is assumed to facilitate the effective decision making process regarding purchase orders, logistics and capacity allocation, thus triggering the high performance of the company. This study tests this assumption via putting forward the hypothesis that IS has a positive and significant influence over SCP.

Hypotheses tested in this assessment are analyzed through data collected from employees working for corporations based in Turkey, via utilizing the Structural Equation Modelling in SPSS AMOS software. The sample consists of senior executives, mid-level managers, specialists and assistant specialists working in a span of sectors (manufacturing, textiles, construction, fast-moving-consumer-goods and logistics). Then, hypotheses are evaluated based on the rigorous processing of data collected from a sample size of 103.

In summary, this study evaluates the inter-relationship between IT, II, TMS and IS, as well as their effect on SCP, aiming to provide a guiding light to firms pursuing efficiency and effectiveness in their supply chains, especially in Turkey and similar developing countries.

## **2. Literature Review**

This study tests a conceptual model that analyses the relationship between IT, II, TMS, IS and SCP, where the latter is the strategic dependent variable. Model proposed hypothesizes that IT has a significant and positive effect on II.

In a similar assessment, Li, Yand, Sun and Sohal (2009) suggest that IT applications influence SCP both directly and through its integration with supply chain. After the testing of data collected from 182 Chinese companies, it has been concluded that while IT applications cannot be accepted to have a direct effect on SCP, their positive influence on supply chain integration has. Vickery, Jayaram, Droge and Calantone (2003) propose that an integrated supply chain strategy is constructed by two main determinants, integrative IT and supply chain integration. Their empirical analysis based on a sample consisting of 3 automobile suppliers in North America identifies a positive and significant relationship between integrated IT and supply chain integration. In another study, Su and Yang (2010) inspects data collected from 128 Taiwanese science-oriented corporations, finding out that strategic IT applications in supply chain management positively influence operational processes as well as customer and planning integration.

The model proposes that II has a positive impact on SCP. Analogously, Gu, Jitpaipoon and Yang (2017) put forward that information system integration will trigger the producer's operational performance. Their research, focusing on a sample size of 220 collected from demand-driven-manufacturers embracing mass customization strategy, validates this lemma. Qi, Huo, Wang and Yeung (2017) base their study on 604 Chinese manufacturers and conclude that II has a significant impact on financial performance. Moreover, Lii and Kuo (2016), through their analysis of 480 surveys collected from corporations operating in Taiwan's electronics sector, assert and validate that II has a significant effect on both the ability and performance of a firm. In another assessment, Braunscheidel and Suresh (2009) study the pre-determinants of supply chain agility via scrutinizing 218 data gathered from the Institute for Supply Management, concluding that II to be one of the antecedents of supply chain agility. Li et al. (2009) accept the hypothesis that supply chain integration has a positive impact on SCP.

Another hypothesis tested in the model is that TMS has a positive influence on IS. In a study conducted by Youn, Yang, Hong and Park (2013), where responses gathered from 141 Korean manufacturers were assessed, it has been identified that TMS has a significant influence on strategic and operational IS. In addition, Byrd and Davidson (2003) base their research on 225 American corporations and put forward a significant relationship between TMS and IT in supply chain applications. Vargas, Mantilla and Jabbour (2018) scrutinize data collected from 126 employees working for firms based in Colombia, finding out that middle-to-top level management support increase firms' competitive advantage via facilitating social and environmental applications.

This study posits the lemma that IS has a positive and significant effect on SCP. In a similar assessment, Xu, Boh, Luo and Zheng (2018) analyze IS's influence on corporates' environmental performance and gather data from 205 firms operating in China, concluding that inter-organizational knowledge sharing has a significant and positive relationship with environmental cooperation and control of supply chain partners. Woo, Kim, Chung and Rho (2016) investigate communicative abilities for green SCP through the perspective of vendors. After carefully inspecting data gathered from 103 construction suppliers operating in Korea, they assert IS's positive influence on environmental cooperation, green cost reduction and corporal competitiveness. In a study based upon a sample containing of 141 Korean manufacturers, Youn et al. (2013) find out that strategic and operational IS to have a positive influence on environmental supply chain management among supply chain partners. Moreover, Youn, Yang and Hong (2012) identify IS's favorable impact on effective supply chain results on a strategic and operational level, after a rigorous analysis of data collected from 132 employees working for Korean corporations.

### **3. Model Proposed and Hypotheses**

#### **3.1. Information Technologies (IT)**

Nowadays, IT has become a critical factor to transforming the way supply chain management activities are performed (Palmer & Griffith, 1998). Application of IT activities throughout the supply chain is vital for the increased success of supply chain applications (Lai, Wong & Cheng, 2006). Therefore, IT has been accepted as a strategic factor in supply chain due to its contributions to the rising performance of corporations and their supply chains (Li et al., 2009).

One of the fundamental objectives of supply chain management is the mitigation of uncertainty. IT helps corporates pursue this target via providing timely and accurate information regarding the existence of products, stock levels and shipping status (Radstaak & Ketelaar, 2009). IT investments facilitate the information flow among departments and ameliorates the organizational structure (Kim & Mahoney, 2006).

IT is a key proponent of supply chain integration as it eases the task of gathering and sharing of strategic information regarding business processes (Kelle & Akbulut, 2005); and the application of IT in supply chain management facilitates the integration of product, information and finance flows among suppliers, producers and customers (Li et al., 2009). Moreover, IT can manage information flow and create inter-connections that contribute to a heightened communication and cooperation among the supply chain (Brandyberry, Rai & White, 1999). It is expected that firms that adeptly apply IT sources are relatively more talented in effectively coordinating certain operations in their internal and external supply chains (Setia & Patel, 2013). IT bears the potential to alleviate the integration and coordination among supply chain partners through promoting the information sharing regarding demand forecasts and production plans, both of which are salient determinants of supply chain operations (Karoway, 1997).

In conclusion, it is presumed that advanced utilization of IT will lead to an increased level of information flow, cooperation and communication within the corporation, leading to II and hence, a soaring up of supply chain performance. Therefore, the following hypothesis can be put forward;

H1: Utilization of advanced IT has a positive and significant effect on II.

#### **3.2. Internal Integration (II)**

II emphasizes the communication and coordination among the departments of the corporation. Analogously, it can be described as the firm's level to operate its strategies, applications and processes with necessary cooperation and in a synchronized manner (Zhao, Huo, Selen & Yeung, 2011). Integration is the result of a corporate's ability to construct a seamless process and facilitated information sharing.

The main target of supply chain integration is to construct a continuous and integrated system that include information and material flow shared both upstream and downstream (Towill, 1997). Examples of II include, but are not limited to, information sharing of different departments through utilizing enterprise resource planning systems upon dealing with sales orders, product

development customized for consumers' needs, coordination and cooperation of R&D, production and marketing departments (Huo, Ye, Zhao & Shou, 2016).

All organizations comprising the supply chain should be managed as a unified system (Frohlich & Westbrook, 2001). This can only be attained if different components of the firm achieve a certain level of integration and coordination.

II helps firms avoid functional setbacks, eases the development of cooperation and attainment of operational performance (Huo et al., 2016). Sophisticated integration among the organizational units of a firm impacts a myriad of performance aspects such as cost, quality, delivery, agility and profits (Li et al., 2009). Ensuring supply chain integration is a strategic process that increases the value added of products, services and information (Lambert & Cooper, 2000). Thus, integration has a crucial influence on corporate competitiveness (Lii & Kuo, 2016).

All in all, a firm that can maintain a sustainable level of integration and cooperation among its organizational units can more agilely cater for its customers' needs, shorten the delivery time and improve its supply chain efficiency. Hence, the following hypothesis can be asserted;

H2: II has a positive and significant effect on SCP.

### **3.3. Top Management Support (TMS)**

The independent variable, TMS, puts emphasis on Top Management's support of IT's effective application, usage and success in various organizational levels and units of the corporation.

TMS bears a strategic importance in the implementation of extended supply chain initiatives (Mentzer, DeWitt, Keebler, Min, Nix, Smith & Zacharia, 2001), and tone-at-the-top regarding usage of IT applications is considered to be a key ingredient to a firm's success (Byrd & Davidson, 2003). In summary, TMS is a vital factor in the operation, usage and success of IT applications in firms (Jarvenpaa & Ives, 1990).

Top Management contributes to the integration of information sharing with corporate business strategy, therefore facilitating the effective application of supply chain management (Wu, Chiag, Wu & Tu, 2004). For instance, top-level decisions allowing for the allocation of necessary budget for IT capacity is essential in easing the strategic and operational information sharing (Youn et al., 2013).

Additional examples to TMS can be put forward as investing in human capital vis-à-vis IT operations, revising business processes to reap the benefits of IT applications and financing research and development initiatives. All in all, tone-at-the-top regarding application and utilization of IT enhances and increases the efficiency of inter-organization information sharing, thus, creating a favourable impact over supply chain performance. The following hypothesis tests this lemma;

H3: TMS has a positive and significant effect on IS.

### **3.4. Information Sharing (IS)**

Information sharing, from a supply chain perspective, represents the timely communication of supply chain partners (Green, Whitten & Inman, 2007), where information sharing can be defined as the sharing of information in a timely, accurate and sufficient manner between those partners (Li, Rao, Ragu-Nathan & Ragu-Nathan, 2005). Another definition asserts that IS is the level to sharing relevant, precise, comprehensive and classified information with its supply chain partners in a timely manner (Sheu, Rebecca Yen & Chae, 2006).

Information sharing on a corporate basis occupies an essential place in the gathering of continuous and timely information (Zelbst, Green Jr, Sower & Baker, 2010). Effective information sharing among supply chain partners have a positive influence on the fulfillment of supply chain applications (Zhou & Benton, 2007). Sharing of value added information within the organization contributes to the enhancement of inter-organizational coordination and product quality (Pereira, 2009).

It can be safe to state that there exists a positive correlation between the intensity of the information shared and competitiveness of the firm. Acquiring, sharing and transmission of information among supply chain partners give rise to innovation and relative competitive advantage (Harland, Zheng, Johnsen & Lamming, 2004). It facilitates the effectiveness of operations based on close cooperation, whereas direct information sharing leads to a better understanding of customers' and other firms' needs and thus, an increased level of catering for those requirements.

When information within the organization is apprised with supply chain partners, it is expected that more effective decisions can be made regarding sales-and-purchase orders, capacity allocation and materials substitution, and this will result in the increased efficiency of supply chain (Huang, Lau & Mak, 2003). In conclusion, the sufficient, accurate and timely sharing of information among supply chain partners lead to a higher level of supply chain performance, supporting the hypothesis below. The overall model proposes is presented in Figure 1.

H4: IS has a positive and significant influence on SCP.



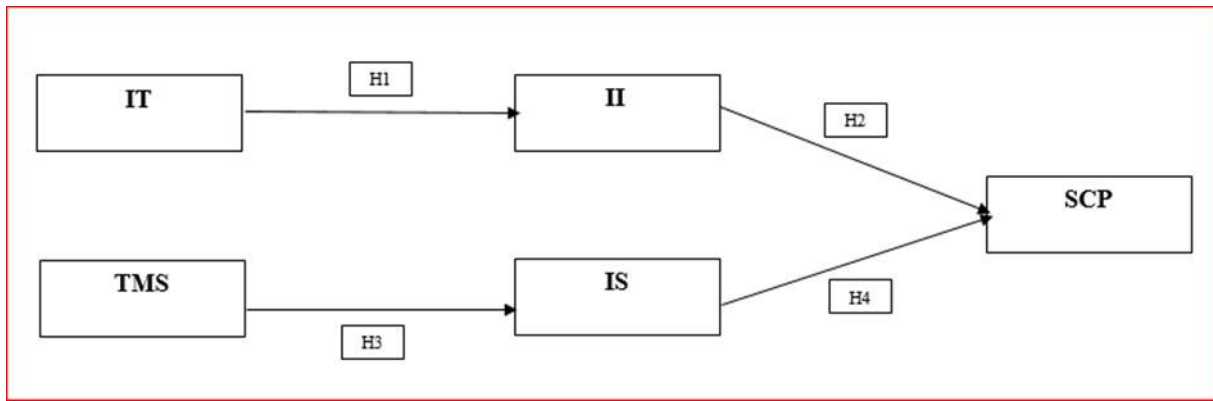


Figure 1. Proposed Model

## 4. Research Methodology

### 4.1. Data Collection

This study is based upon data collected from employees working for firms based in Turkey, where the sample consists of senior executives, mid-level managers, specialists and assistant specialists employed in firms operating in various sectors such as manufacturing, textiles, construction, fast-moving-consumer-goods and logistics. Priority is given to respondents who have a certain level of knowledge regarding their respective firms’ supply chain activities.

The questionnaire has taken place during March – June 2019, during which surveys were sent to 250 employees via electronic mail and a total of 124 replies were received. Following the elimination of incomplete and inaccurate responses, a sample size of 103 were attained. Information regarding the respondents are presented in Table 1.

Table 1. Firms and Participants Information

Classification	Frequency (n=103)	Percentage (%)
<b>Industry Type</b>		
Manufacturing	30	29.1
Textile	22	21.4
Construction	19	18.4
Food	16	15.5
Logistic	16	15.5
<b>Number of Employees</b>		
< 50	26	25.2
50-100	12	11.7
100-500	16	15.5
500-1000	13	12.6
1000 <	36	35
<b>Job Title</b>		
Senior Executive	11	10.7
Mid Level Manager	16	15.5
Expert	28	27.2
Assistant Expert	48	46.6
<b>Seniority</b>		
<3 years	42	40.8
3-5 years	23	22.3
5-10 years	20	19.4
10< years	18	17.5

A literature-based survey was developed in order to be able to test the proposed model (Appendix A). Questions collected from previous research were translated into Turkish and were adopted to fit for relevance. The questionnaire consists of two sections: the first section comprises of 4 questions asked to identify the characteristics of respondents and their subsequent firms whereas the second section is formed of 37 Likert-type queries calculated on a five-fold scale.

## 4.2. Data Analysis

Data collected from participants are analysed through Structural Equating Modelling via utilizing SPSS AMOS software. A two-step process is carried out where measurement model and structural model are evaluated respectively.

### 4.2.1. Measurement Model

The reliability of each item is assessed through its factor loading as common theory suggests that a reliable model should have factor loadings greater than 0.5 (Hair, Black & Babin, 2010). As a result, the factor loadings of all variables proposed in this model are consistent with this lemma and vary between 0.571 (SCP 8) and 0.906 (II 2).

The convergent validity of the measurement model is tested via Confirmatory Factor Analysis, to find out whether a high level of correlation exists between the items of constructs tested in this step. Theory suggests that the Composite Reliability (CR) values of constructs should be higher than 0.7 for convergent validity (Hair, Anderson, Tatham & Black, 1998). In line with this, the CR levels of all of the five constructs of the model proposed are higher than 0.7 and vary between 0.8 (TMS) and 0.888 (SCP).

Fornell and Larcker (1981) suggest that the Average Variance Extracted (AVE) value of each construct should be higher than 0.5, and the confirmatory factor analysis carried out for this model supports this lemma, as the AVE values of the constructs can be considered acceptable taking values within the range of 0.687 (IT) and 0.817 (II).

On a scale assessing internal reliability through Cornbach's Alpha values, coefficients higher than 0.90 are representative of perfect reliability, values ranging between 0.70-0.90 and 0.50-0.70 mean high and moderate reliability, respectively, whereas coefficients lower than 0.50 represent low reliability (Hinton, Brownlow, McMurray & Cozens, 2004). Coefficients of structures tested in the model are above the acceptable limit offered by the theorem, as TMS (0.898), IS (0.890) and IT (0.834) show high reliability, while the coefficients of II (0.922) and SCP (0.921) are calculated to have perfect reliability (Table 2).

### 4.2.2. Structural Model

Common theory uses various indices to test the aptitude of the structural model, while the most frequently used indices in the literature reviewed within the scope of this study can be listed as  $\lambda^2/df$ , RMSEA, SRMR TLI and CFI (Table 3). It has been assessed that the structural model has a satisfactory level of aptitude.

IT has a significant and positive impact on II ( $\beta=0.669$ ,  $p=***$ ), nevertheless no similar relationship exists between the latter variable and SCP ( $\beta=-0.023$ ,  $p=-0.789$ ). It has been put forward that there is a significant interconnection between TMS and IS ( $\beta=0.749$ ,  $p=***$ ). Moreover IS is found out to have a robust impact on SCP ( $\beta=0.852$ ,  $p=***$ ). All in all, while hypotheses 1, 3 and 4 are not rejected; hypothesis 3 is (Table 4). The results of the hypotheses of the proposed model are presented in Figure 2.

Independent variables introduced explain 44.8%, 56.2% and 70.5% of II, IS and SCP respectively. The remaining can be attributed to indeterminate variables and errors.

## 5. Results

In order to test the hypotheses asserted in the model, data collected is analysed through Structural Equation Modelling via the utilization of SPSS AMOS software. The aptitude index levels of the proposed model are calculated to be  $\lambda^2/df$ : 1.353, RMSEA: 0.059, SRMR:0.0699, TLI:0.911, CFI:0.919, as all of them are above the acceptable levels theorized by the previous literature (Table 3). Results of the structural model are given in Figure 2.

The analyses results of the structural model Show that TMS has a positive and significant impact on IS ( $\beta=0.749$ ,  $p=***$ ), and the latter variable is a direct determinant of SCP ( $\beta=0.852$ ,  $p=***$ ), leading one to not reject the hypotheses 3 and 4. In addition, even though a significant interrelation is found between IT and II ( $\beta=0.669$ ,  $p=***$ ), no such relationship is calculated to exist between II and SCP ( $\beta=-0.023$ ,  $p=-0.789$ ). Therefore hypothesis 2 is rejected while hypothesis 1 is not.

To conclude, it can be inferred from the testing results that Top Management Support influences the efficiency of information and data sharing, which leads to a heightened level of supply chain success. Moreover, effective usage of information and communication technologies contribute to inter-organizational integration. Unfortunately, this integration process cannot be shown to have an important impact on the supply chain performance.

## 6. Discussion and Conclusion

This study aims to uncover the relationship of four components (IT, II, TMS and IS) with SCP, hoping to provide a guiding light for corporations pursuing to attain and maintain a successful supply chain strategy.

Investments undertaken by corporates on information and communication technologies have expanded over time, however, it is still yet unclear whether these technologies have a direct and favourable effect on inter-organizational integration. This study proposes that advanced utilization of information and communication technologies will facilitate the information flow, communication and cooperation within the company. The results of the empirical analysis validate this lemma.

Table 2. Outputs of Measurement Model

Constructs	Item	Factor Loading	Cronbach's Alpha	CR	AVE
IT	IT 1	0.637	0.834	0.804	0.687
	IT 2	0.611			
	IT 3	0.756			
	IT 4	0.642			
	IT 5	0.775			
	IT 6	0.701			
II	II 1	0.853	0.922	0.831	0.817
	II 2	0.906			
	II 3	0.860			
	II 4	0.827			
	II 5	0.760			
	II 6	0.695			
TMS	TMS 1	0.794	0.898	0.800	0.799
	TMS 2	0.779			
	TMS 3	0.791			
	TMS 4	0.824			
	TMS 5	0.809			
IS	IS 1	0.666	0.890	0.862	0.692
	IS 2	0.817			
	IS 3	0.649			
	IS 4	0.665			
	IS 5	0.739			
	IS 6	0.706			
	IS 7	0.720			
	IS 8	0.656			
	IS 9	0.606			
SCP	SCP 1	0.711	0.921	0.888	0.721
	SCP 2	0.812			
	SCP 3	0.669			
	SCP 4	0.764			
	SCP 5	0.809			
	SCP 6	0.761			
	SCP 7	0.741			
	SCP 8	0.571			
	SCP 9	0.738			
	SCP 10	0.711			
	SCP 11	0.643			

Ability of a company to sustain its strategies and operations with sufficient cooperation and in a synchronized manner is crucial in the continuity of the business processes. Previous research has tested the connection of inter-company integration to financial performance (Qi et al., 2017), competitiveness (Huo et al., 2016; Lii & Kuo, 2016), corporate performance (Lii & Kuo, 2016) and supply chain agility (Braunscheidel & Suresh, 2009). This assessment hypothesises that coordination among organizational units have a favourable impact on the supply chain performance of the firm, yet fails to find out a significant relationship in the empirical tests.

Effective application and usage of information and communication technologies in a firm is thought to be facilitated by top management support. Tone-at-the-top contributes to the seamlessness of information sharing within the firm and its supply chain partners. Similarly, this model suggests that TMS has a positive impact on IS and provides the necessary empirical results to back this lemma.

Timely and accurate sharing of information among supply chain members is a key proponent of the effectiveness of the supply chain. One cannot expect the sustainability of a supply chain success unless information is shared in a timely and accurate manner with its supply chain partners. This study assesses the relationship between IS and SCP and discovers that IS has a favourable and significant influence on SCP.

Table 3. Measurement Fit Indices

Indices	Model	Recommended Values	References
$\lambda^2/df$	1.353	$\leq 3$	Hu and Bentler (1999), Kline (2005), Steiger (2007)
RMSEA	0.059	$<0.07$	
SRMR	0.0699	$<0.08$	
TLI	0.911	$>0.90$	
CFI	0.919	$>0.90$	

Table 4. Hypotheses Testing Results

Hypothesis	Independent Variable	Dependent Variable	Beta ( $\beta$ )	p-value	
1	IT	II	$p < 0.001$	0.669	+
2	II	SCP	0.789	-0.023	+
3	TMS	IS	$p < 0.001$	0.749	-
4	IS	SCP	$p < 0.001$	0.852	+

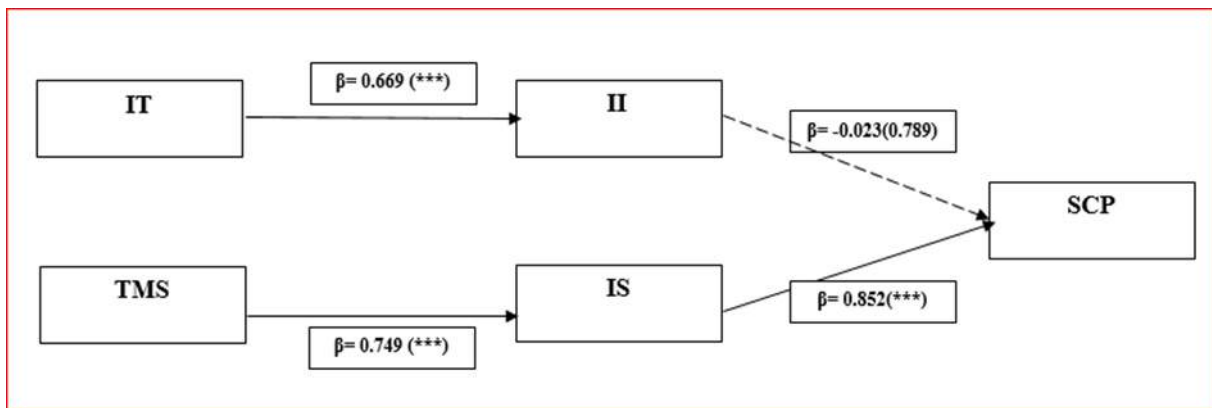


Figure 2. Final Model

The findings of the model can be rephrased as follows: Top Management’s support of the utilization of information and communication technologies trigger the timely and accurate sharing of information among supply chain partners. Therefore a policy advice should revolve around facilitating the tone-at-the-top regarding the employees’ usage of information and communication technologies via utilizing certain methods such as financing of IT development, investing on necessary and relevant human capital and re-designing business processes to reap the potential benefits of IT applications.

The assessment also identifies that timely and accurate sharing of information among supply chain partners has a positive impact on the effectiveness of supply chain. Seamless and robust information sharing facilitate effective decision making on a myriad of issues ranging from capacity allocation to materials substitution, hence leading to a heightened level of SCP. Moreover, the analysis also shows that effective IT utilization within the company has a favourable influence on inter-organizational communication and coordination.

Still, it should be noted that certain limitations exist in this model that should be taken into account in further research. For example, this study concentrates on the general description of IT, rather than focusing on a specific sub-category. Therefore, further research can be directed towards a certain group of IT users, to determine the varying effects of various IT users. Moreover, the model proposed in this paper is analysed with a sample containing employees working for five different sectors. Limiting the sample to a certain sector, and if possible, to a certain region and culture can provide interesting results. In addition, this model rejects the hypothesis that inter-company integration affects the supply chain performance. Further research can include external integration, process, customer and supplier integration as possible independent variables to explain supply chain performance.

Constructs	Items	Measures	References
Information Technology	IT1	We can directly communicate with our strategic suppliers through computerized systems.	Paulraj et al. (2008)
	IT2	Inter-company coordination is facilitated through electronic connections	
	IT3	We use activated information technologies while operating our processes.	
	IT4	We communicate with our strategic vendors with electronic mail.	
	IT5	We transfer our purchase orders and invoices via electronic means.	
	IT6	We use advanced information technologies to follow up our dispatches.	
Internal Integration	II1	Departments in our firm are in frequent contact with each other.	Huo et al. (2016)
	II2	Departments in our firm work in unison with each other.	
	II3	Departments in our firm work in close cooperation to resolve problems.	
	II4	Departments in our firm operate in close coordination with each other.	
	II5	Departments in our firm operate interactively with each other.	
	II6	We work in teams in new product development processes.	
Top Management Support	TMS1	Top Management trains its employees on information technologies.	Byrd and Davidson (2003)
	TMS2	Top Management restructures business processes to reap the potential benefits of information technologies.	
	TMS3	Top Management supports the feedback/opinions of the Information Technologies Department.	
	TMS4	Top Management provides necessary funding to research and develop information technologies.	
	TMS5	Top Management facilitates the inter-organizational technology transfer.	
Information Sharing	IS1	We can more agilely cater for our customers' needs through sharing information with our suppliers.	Woo et al. (2016)
	IS2	There is seamless and continuous information flow among our supply chain partners.	
	IS3	We openly share information with our supply chain partners.	
	IS4	Supply chain partners openly share their information with us.	
	IS5	Information shared by suppliers, producers and customers are prevalent in and easily accessed within our firm.	
	IS6	Our customers update us on the status of the projects in a timely manner.	
	IS7	Visibility of the information regarding the project status allow us to more agilely and accurately cater for the needs of our customers.	
	IS8	Noise of the information within supply chain is minimized with the help of fast, frequent and accurate information sharing among supply chain partners.	
	IS9	As a component of our effective supply chain management effort, we try to develop our information systems to be compliant with our suppliers' and customers' systems.	
Supply Chain Performance	SCP1	Our firm is able to offer zero-defect products to end users.	Green et al. (2012)
	SCP2	Our firm is able to render value-added services to end users.	
	SCP3	Our firm does not deliver damaged and/or deficient goods and does not impede its delivery time.	
	SCP4	Our firm is able to agilely respond to and resolve end-users' problems.	
	SCP5	Our firm is able to offer products to the end-users in a timely manner.	
	SCP6	Our firm is able to offer products to the end-users in a sufficient manner.	
	SCP7	Our firm is able to deliver / ship goods in differing sizes to the end-users.	
	SCP8	Our firm is able to deliver / ship goods in small sizes to the end-users.	
	SCP9	Our firm is able to minimize total product costs for end-users.	
	SCP10	Our firm is able to maximize each type of waste reduction through its supply chain.	
	SCP11	Our firm is able to minimize its safety stock through its supply chain.	

## References

- Bovel, D., & Martha, J. (2000). From supply chain to value net. *Journal of Business Strategy*, 21(4), 24-28.
- Brandyberry, A., Rai, A., & White, G.P. (1999). Intermediate performance impacts of advanced manufacturing technology systems: An empirical investigation. *Decision Sciences*, 30(4), 993-1020.
- Braunscheidel, M. J., & Suresh, N. C. (2009). The organizational antecedents of a firm's supply chain agility for risk mitigation and response. *Journal of Operations Management*, 27(2), 119-140.
- Byrd, T.A., & Davidson, N.W. (2003). Examining possible antecedents of IT impact on the supply chain and its effect on firm performance. *Information & Management*, 41(2), 243-255.
- Frohlich, M.T., & Westbrook, R. (2001). Arcs of integration: an international study of supply chain strategies. *Journal of Operations Management*, 19(2), 185-200.
- Green Jr, K.W., Whitten, D., & Inman, R.A. (2007). The impact of timely information on organisational performance in a supply chain. *Production Planning & Control*, 18(4), 274-282.
- Green Jr, K. W., Whitten, D., & Inman, R. A. (2012). Aligning marketing strategies throughout the supply chain to enhance performance. *Industrial Marketing Management*, 41(6), 1008-1018.
- Gu, Q., Jitpaipoon, T., & Yang, J. (2017). The impact of information integration on financial performance: A knowledge-based view. *International Journal of Production Economics*, 191, 221-232.
- Harland, C., Zheng, J., Johnsen, T., & Lamming, R. (2004). A Conceptual Model for Researching the Creation and Operation of Supply Networks 1. *British Journal of Management*, 15(1), 1-21.



- Hu, L. T., & Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural equation modeling: a multidisciplinary journal*, 6(1), 1-55.
- Huang, G.Q., Lau, J.S., & Mak, K.L. (2003). The impacts of sharing production information on supply chain dynamics: A review of the literature. *International Journal of Production Research*, 41(7), 1483-1517.
- Huo, B., Ye, Y., Zhao, X., & Shou, Y. (2016). The impact of human capital on supply chain integration and competitive performance. *International Journal of Production Economics*, 178, 132-143.
- Jarvenpaa, S. L., & Ives, B. (1990). Information technology and corporate strategy: a view from the top. *Information Systems Research*, 1(4), 351-376.
- Jin, B. (2006). Performance implications of information technology implementation in an apparel supply chain. *Supply Chain Management: An International Journal*, 11(4), 309-316.
- Karoway, C. (1997). Superior supply chains pack plenty of byte. *Purchasing Technology*, 8(11), 32-35.
- Kelle, P., & Akbulut, A. (2005). The role of ERP tools in supply chain information sharing, cooperation, and cost optimization. *International Journal of Production Economics*, 93, 41-52.
- Kim, S.M., & Mahoney, J.T. (2006). Mutual commitment to support exchange: Relation-specific IT system as a substitute for managerial hierarchy. *Strategic Management Journal*, 27(5), 401-423.
- Kline, R.B. (2005). *Principles and Practice of Structural Equation Modeling* (2nd Edition ed.). New York: The Guilford Press.
- Lai, K.H., Wong, C.W., & Cheng, T.E. (2006). Institutional isomorphism and the adoption of information technology for supply chain management. *Computers in Industry*, 57(1), 93-98.
- Lambert, D. M., & Cooper, M. C. (2000). Issues in supply chain management. *Industrial Marketing Management*, 29(1), 65-83.
- Li, G., Yang, H., Sun, L., & Sohal, A.S. (2009). The impact of IT implementation on supply chain integration and performance. *International Journal of Production Economics*, 120(1), 125-138.
- Li, S., Rao, S. S., Ragu-Nathan, T. S., & Ragu-Nathan, B. (2005). Development and validation of a measurement instrument for studying supply chain management practices. *Journal of Operations Management*, 23(6), 618-641.
- Lii, P., & Kuo, F. I. (2016). Innovation-oriented supply chain integration for combined competitiveness and firm performance. *International Journal of Production Economics*, 174, 142-155.
- Mentzer, J.T., DeWitt, W., Keebler, J.S., Min, S., Nix, N.W., Smith, C D., & Zacharia, Z.G. (2001). Defining supply chain management. *Journal of Business Logistics*, 22(2), 1-25.
- Palmer, J.W., & Griffith, D.A. (1998). Information intensity: A paradigm for understanding web site design. *Journal of Marketing Theory and Practice*, 6(3), 38-42.
- Paulraj, A., Lado, A. A., & Chen, I. J. (2008). Inter-organizational communication as a relational competency: Antecedents and performance outcomes in collaborative buyer-supplier relationships. *Journal of Operations Management*, 26(1), 45-64.
- Pereira, J. V. (2009). The new supply chain's frontier: Information management. *International Journal of Information Management*, 29(5), 372-379.
- Qi, Y., Huo, B., Wang, Z., & Yeung, H. Y. J. (2017). The impact of operations and supply chain strategies on integration and performance. *International Journal of Production Economics*, 185, 162-174.
- Radstaak, B.G., & Ketelaar, M.H. (1998). *Worldwide Logistics: The Future of Supply Chain Services: Executive Summary, Conclusions and Major Findings*. Holland International Distribution Council.
- Setia, P., & Patel, P.C. (2013). How information systems help create OM capabilities: Consequents and antecedents of operational absorptive capacity. *Journal of Operations Management*, 31(6), 409-431.
- Sheu, C., Rebecca Yen, H., & Chae, B. (2006). Determinants of supplier-retailer collaboration: Evidence from an international study. *International Journal of Operations & Production Management*, 26(1), 24-49.
- Steiger, J. H. (2007). Understanding the limitations of global fit assessment in structural equation modeling. *Personality and Individual Differences*, 42(5), 893-898.
- Su, Y. F., & Yang, C. (2010). A structural equation model for analyzing the impact of ERP on SCM. *Expert Systems with Applications*, 37(1), 456-469.
- Towill, D.R. (1997). The seamless supply chain-the predator's strategic advantage. *International Journal of Technology Management*, 13(1), 37-56.
- Vargas, J. R. C., Mantilla, C. E. M., & Jabbour, A. B. L. S. (2018). Enablers of sustainable supply chain management and its effect on competitive advantage in the Colombian context. *Resources, Conservation and Recycling*, 139, 237-250.
- Vickery, S. K., Jayaram, J., Droge, C., & Calantone, R. (2003). The effects of an integrative supply chain strategy on customer service and financial performance: an analysis of direct versus indirect relationships. *Journal of operations management*, 21(5), 523-539.
- Woo, C., Kim, M.G., Chung, Y., & Rho, J.J. (2016). Suppliers' communication capability and external green integration for green and financial performance in Korean construction industry. *Journal of Cleaner Production*, 112, 483-493.
- Wu, W.Y., Chiag, C.Y., Wu, Y.J., & Tu, H.J. (2004). The influencing factors of commitment and business integration on supply chain management. *Industrial Management & Data Systems*, 104(4), 322-333.
- Xu, Y., Boh, W. F., Luo, C., & Zheng, H. (2018). Leveraging industry standards to improve the environmental sustainability of a supply chain. *Electronic Commerce Research and Applications*, 27, 90-105.
- Youn, S., Yang, M. G. M., & Hong, P. (2012). Integrative leadership for effective supply chain implementation: An empirical study of Korean firms. *International Journal of Production Economics*, 139(1), 237-246.
- Youn, S., Yang, M.G.M., Hong, P., & Park, K. (2013). Strategic supply chain partnership, environmental supply chain management practices, and performance outcomes: an empirical study of Korean firms. *Journal of Cleaner Production*, 56, 121-130.
- Zelbst, P. J., Green Jr, K.W., Sower, V.E., & Baker, G. (2010). RFID utilization and information sharing: The impact on supply chain performance. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 25(8), 582-589.

- Zhao, X., Huo, B., Selen, W., & Yeung, J.H.Y. (2011). The impact of internal integration and relationship commitment on external integration. *Journal of Operations Management*, 29(1-2), 17-32.
- Zhou, H., & Benton Jr, W.C. (2007). Supply chain practice and information sharing. *Journal of Operations Management*, 25(6), 1348-1365.



# Afyonkarahisar'da Tüketilen Önemli Yabancı Elma Çeşitlerinin Bazı Kalite ve Antioksidan Özellikleri

Ayşegül Türk Baydır<sup>1</sup>, Harun Dıraman<sup>1\*</sup>, Recep Palamutoğlu<sup>2</sup>, Cemal Kasnak<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Gıda Kontrol Araştırma ve Uygulama Merkezi, Afyonkarahisar (ORCID:0000-0003-3014-3152 – ORCID\*: 0000-0001-8049-0465)

<sup>2</sup>Afyon Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Afyonkarahisar (ORCID: 0000-0002-1168-081X – ORCID:0000-0002-8312-7829)

(İlk Geliş Tarihi 9 Eylül 2019 ve Kabul Tarihi 13 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.917237)

**ATIF/REFERENCE:** Türk Baydır, A., Dıraman, H., Palamutoğlu, R. & Kasnak, C. (2019). Afyonkarahisar'da Tüketilen Önemli Yabancı Elma Çeşitlerinin Bazı Kalite ve Antioksidan Özellikleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 927-932.

## Öz

Bu çalışmada Afyonkarahisar (Türkiye) il merkezinde tüketime sunulan ekonomik olarak önemli 5 farklı yabancı çeşit elma (Golden Delicious, Cameo, Fuji, Red Delicious, Breaburn) bazı kalite (su aktivitesi, briks, pH ve renk) özellikleri ve antioksidan kapasitesi (Radikal süpürücü – DPPH) açısından değerlendirilmiştir. Elma örneklerine ait bazı kalite özellikleri ve toplam antioksidan kapasitesi değerlerinin değişimi sırası ile su aktivitesi 0.946 (Red Delicious/ Breaburn) – 0.955 (Cameo); briks % 12.36 (Cameo/Fuji) – 14.04 (Red Delicious), pH 4.22 (Golden Delicious) – 4.92 (Cameo), ve % DPPH (radikal süpürme aktivitesi yöntemi) %4,46 ile (Fuji) – %17.24 (Red delicious) olarak tesbit edilmiştir. Ayrıca elma örneklerinin kabuklarına ait renk analizi ile L, a ve b değerleri değişimi sırasıyla 33.00 (Red Delicious) – 73.05 (Golden Delicious), (–3.8) (Golden Delicious) ile 32.24 (Breaburn) ve 10.25 (Red Delicious) – 44.79 (Golden Delicious) olarak bulunmuştur. Elma örneklerinin etindeki renk değerleri L, a ve b sırasıyla 78.21 (Red Delicious) – 84.17 (Golden Delicious), (–0.40) (Breaburn) ile (–1.28) (Cameo) ve 22.78 (Fuji) – 26.02 (Golden Delicious) olmuştur.

**Anahtar kelimeler:** taze elma, su aktivitesi, briks, pH, radikal süpürme aktivitesi, DPPH, renk analizi.

## Some Quality and Antioxidant Properties of Important Foreigner Apple Cultivars Consumed in Afyonkarahisar

### Abstract

In this study, economically important five different foreigner apple cultivars ((Golden Delicious, Cameo, Fuji, Red Delicious, Breaburn) consumed in Afyonkarahisar-Turkey were evaluated for their quality and antioxidant properties. The water activity, brix values %, pH data, and total antioxidant (radical scavenging -DPPH) capacity of the apple samples were changed 0.946 (Red Delicious/ Breaburn) – 0.955 (Cameo), % 12.36 (Cameo/Fuji) – 14.04 (Red Delicious), pH 4.22 (Golden Delicious) – 4.92 (Cameo), and 4,46 ile (Fuji) – %17,24 (Red delicious), respectively. Also, the changes of color data (L, a and b) in peel of apple samples were determined 33.00 (Red Delicious) – 73.05 (Golden Delicious), (–3.8) (Golden Delicious) - 32.24 (Breaburn) and 10.25 (Red Delicious) – 44.79 (Golden Delicious), respectively. The color data (L, a and b) in flesh of apple samples were changed 78.21 (Red Delicious) – 84.17 (Golden Delicious), (–0.40) (Breaburn) – (–1.28) (Cameo) and 22.78 (Fuji) – 26.08 (Golden Delicious), respectively.

**Keywords:** fresh apple, water activity, brix, pH, radical scavenging, DPPH, color analysis

\* Sorumlu Yazar: Afyon Kocatepe Üniversitesi Gıda Kontrol Araştırma ve Uygulama Merkezi, Afyonkarahisar, ORCID:0000-0001-8049-0465, [hdiraman@aku.edu.tr](mailto:hdiraman@aku.edu.tr)

## 1.Giriş

Elmalar dünyanın en eski ve popüler meyvelerinden biridir. Çoğunlukla taze tüketilmekle birlikte, içecekler, reçel, jöle gibi gıdalar biçiminde işlenerek tüketilmektedirler (Tsao, 2016). Birleşmiş Milletler Gıda –Tarım Örgütü (FAO) 2016 yılı verilerine göre dünya toplam elma üretimi 89.329.179 ton olarak kaydedilmiştir. Bu veriler incelendiğinde elma üretiminin ülkelere göre dağılımı en çok üretim yapan ülkeler olarak Çin (44.447.793 ton), Amerika Birleşik Devletleri (4.649.323 ton) ve Avrupa Birliği ülkesi Polonya (3.604.271 ton) ilk üç sırayı paylaşmaktadır. Diğer ülkeler olarak dünya elma üretimini Türkiye (2.925.828 ton), Hindistan (2.872.000 ton), İran (2.799.197 ton) ve İtalya (2.455.616 ton) gerçekleştirmiştir (worldatlas.com). Türkiye’de elma üretimi yaygın olarak farklı yörelerde yapılmakta olup, 2016 yılı için Göller bölgesi’nden Isparta (228.090 ton), Orta Anadolu’dan Karaman (195.563 ton) ve Niğde (234.090 ton) ilk sıralarda yer almaktadır. Bunu Antalya (136 252 ton), Konya (102.469 ton) Denizli (70.773 ton) ve Kayseri (61.930 ton) illerindeki diğer üretim izlemiştir (TEPGE, 2018). Ülkemizde yaygın olarak sırasıyla yabancı çeşitler olarak Starking delicious, Golden delicious, Amasya ve Granny Smith elma çeşitleri yetiştirilmektedir.

Tüm dünyada en çok tüketilen meyvelerden biri olan elma, öncelikle çeşidine ve uygulanan tarım tekniğine, yetiştirme ve depolama şartlarına bağlı olmak üzere içerdiği kuru madde miktarı farklılık göstermektedir. Elma kuru maddesini oluşturan unsurlar şöyle sıralanabilir: makro bileşen fraksiyonu olarak karbonhidratlardan fruktoz, glukozu (monosakkarit), sakkaroz (disakkarit), sorbitol (şeker alkol) şekerleri ile birlikte pektini (oligosakkarit türevi) zengin bir besinsel lif kaynağı olarak bünyesinde içermektedir. Elma kuru maddesindeki diğer mikro bileşenler de içerik olarak bazı organik asitler (triterpenik asitlerden malik, fumarik, sitrik ve şikimik) ve bazı fenolik bileşikler kapsamaktadır (Kalinowska ve ark., 2014; Raudone ve ark., 2017). Elmalarda meyve çeşit, tür ve olgunluk durumuna göre 11.88-585.52 mg/100g (gallik asit eşdeğeri) arasında değişen bir toplam fenolik bileşen miktarına sahiptir. Elmaların fenol profilinin, genel olarak gallik, klorojenik ve p-kumarik asit fenolik asitlerinden oluştuğu bildirilmektedir (Fu ve ark., 2011). Elmaları da kapsamak üzere tüm taze meyvelerin tüketilmesi, kanser ve kardiyovasküler hastalık gibi birçok dejeneratif hastalıkların önlenmesinde önem taşımaktadır. Normal hücre fonksiyonunun bir parçası olarak, tüm hücrelerde sürekli olarak oluşan endojen veya ekzojen kaynaklı serbest radikal üretiminin, miktarına bağlı olarak birçok hastalığa sebep olduğu bildirilmektedir. Meyvelerin bünyesindeki çeşitli antioksidanlar, serbest radikal oluşumunu önleyerek, onları temizleyerek veya bozunumlarını arttırarak serbest radikal kaynaklı doku hasarını önlediği ifade edilmektedir (Young ve Woodside, 2001). Elma, içerdiği zengin fitokimyasal yapısı ile antioksidan, antikanserojen, antiinflamatuvar, nöroprotektif ve immün sistemi düzenleyici özelliklere sahip olduğu bildirilmektedir. Ayrıca elma meyvesi bu özelliklerinin yanında kardiyovasküler, diyabet, obezite ve astım hastalıklarına karşı da koruyucu bir etki göstermektedir.Yapılan çalışmalarda elma tüketimi kardiyovasküler hastalıklar, bazı kanserler, şeker hastalığı riskinde azalma ile ilişkilendirilmiştir (Chai ve ark.,2012; Kalinowska ve ark.,2014). Günlük gıda tüketiminde pek çok meyve ile karşılaştırıldığında Amerika Birleşik Devletleri’nde elmaların ikinci en yüksek antioksidan aktivitesine sahip meyve türü olduğu Boyer ve Liu (2004) tarafından bildirilmektedir.

Çeşitli elma meyvelerinin bazı fizikokimyasal ve antioksidan nitelikleri konusunda ülkemizde (Karadeniz ve ark., 2005; Bostan ve Acar, 2009; Özrenk ve ark.,2011; Balta ve ark.,2015; Ertekin Filiz , 2015; Şenyurt ve ark.,2015; İçli,2017) ve dünyada (Lachman ve ark.,2006; Vojdjo 2008; Jelodorian ve ark.,2011; Chong ve ark.,2013; Wang ve ark.2013; Schmutzler ve Huck, 2016; Kim ve ar.,2017) yapılmış bir çok çalışma bulunmaktadır.

Bu çalışmada ülkemizde yaygın şekilde yetiştirilen ve günlük beslenmede kullanılan bazı elma çeşitlerinin önemli fizikokimyasal özellikleri (renk, su aktivitesi, briks ve pH ile antioksidan düzeyi (DPPH) incelenmiştir. Doğal antioksidanların günümüz beslenme çalışmalarında bilimsel olarak önem taşımaları sebebiyle bu konuda yapılacak çalışmalara bilimsel bir katkı sağlamak amaçlanmıştır.

## 2.Materyal ve Metot

### 2.1.Materyal

Bu çalışmada analiz edilen elma örnekleri 2017 hasat yılına ait olup, ülkemizde ekonomik anlamda yetiştiriciliği yapılan yabancı kökenli beş farklı elma çeşidi (Red Delicious, Cameo, Breaburn, Fuji ve Golden Delicous) kullanılmıştır. Göller Bölgesi (özellikle Isparta yöresi) ‘den geldiği ifade edilen araştırma örnekleri Afyonkarahisar’da bir lokal pazar yerinden sağlanmıştır.

**2.2. Elma Örneklerinde yapılan Fiziksel ve Fizikokimyasal Analizler:** Elmaların brix ve pH değerlerinin tayininde öğütülmüş elmalardan elde edilen taze suları herhangi bir dilüsyona tabi tutulmadan kullanılmıştır. Elma örneklerinin brix değerleri Atago marka dijital refraktometre cihazıyla, pH değerleri Metler-Toledo marka bir pH metre ve su aktivitesi ise Novasina marka bir su aktivitesi tayin cihazıyla tespit edilmiştir. Meyve örneklerinin kabuk ve et kısımlarının renkleri X-rite Ci6x model renk tayin cihazıyla belirlenmiştir. Tüm analizler dört paralel olarak gerçekleştirilmiştir.

**2.3.Elma Örneklerinde yapılan Antioksidan Aktivite Belirlenmesi Analizleri:** DPPH Radikali ile toplam antioksidan tayininde elma örneklerinden metanolik ekstraktlar Karadeniz ve ark. (2005)’nin metoduna göre hazırlanmıştır. DPPH radikali ile antioksidan analizi ise Chai ve ark. (2012)’nin metodu modifiye edilerek kullanılmıştır. Buna göre metanolik DPPH çözeltisi (96 mg/L) hazırlanarak, elma ekstraktları (1,6 ml) üzerine 0,4 ml DPPH çözeltisi eklenmiştir. Daha sonra 30 dk süre ile karanlıkta bekletilerek 517 nm’de absorbansları kör numuneye karşı okunmuştur. Örneklerin % antioksidan aktiviteleri aşağıdaki eşitliğe göre tespit edilmiştir.

$$\text{Antioksidan aktivite (\%)} = [(A_o - A_0) / A_o] * 100$$

Ao: Elma ekstraktı içermeyen numune absorbansı

Aö: Elma ekstraktı içeren numune absorbansı

Analizler dört paralel olarak gerçekleştirilmiştir.

Elma örneklerdeki tüm analizlerden elde edilen veriler, SPSS (10.0) paket programı kullanılmak suretiyle Duncan Çoklu Karşılaştırma Testine göre ( $p>0.05$ ) güven aralığında karşılaştırılmıştır (Soysal, 1998).

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1.Sonuçlar

Afyonkarahisar'daki lokal bir halk pazarından sağlanmış ve 2017 yılı hasat ürünü olan elma örneklerine ait briks (Kuru madde), su aktivitesi, pH ve DPPH (Radikal süpürücü aktivite) değerleri Tablo 1'de ve Tablo 2'de de renk tayin (X-rite Ci6x model) cihazıyla tespit edilen meyvenin kabuk ve etli kısımlarının sonuçları verilmiştir.

Tablo 1. Afyonkarahisar'da tüketime sunulan elma örneklerine ait briks, su aktivitesi, pH ve DPPH değerleri\*

Elma Çeşidi	Red Delicious	Cameo	Breaburn	Fuji	Golden delicious
Su Aktivitesi	0.946 ±0.02 a	0.955 ±0.02 a	0.946 ±0.01 a	0,949 ±0.01 a	0,952 ±0.02 a
pH	4,48 ±0.01 bc	4.92 ±0.02 a	4.52 ±0.02 bc	4,66 ±0.02 b	4,22 ±0.02 d
Brix %	14.04 ±0.15 a	12.36 ±0.23 c	13.79 ±0.18 b	12,36 ±0.20 c	13,41 ±0.33 b
DPPH %	17.24 ±0.50 a	10.00 ± 0.40 b	8.50 ± 0.35 c	4.46 ± 0.32 de	5,02 ± 0.45 de

\*Aynı harfle gösterilen ortalamalar birbirinden farklıdır

Taze elma örneklerinde su aktivitesi ( $a_w$ ) değerleri değişimi 0.946 (Red delicious ve Breaburn) – 0.955 (Cameo) arasında bulunmuştur (Tablo 1). Taze meyvelerde su aktivitesinin 0.9-1 arasında bulunduğu bilinmektedir. Su aktivitesi tazelik faktörünün yanında meyvelerin depolanması ve raf ömürleri açısından önem arz etmektedir. Su aktivitesi değerleri mikroorganizmaların özellikle de meyvelerin raf ömürleri açısından önem taşıyan bazen de mikotoksin ürettiği bilinen bazı maya ve küf gelişim bakımından meyve muhafazasında dikkate alınan bir kriterdir (Cemeroğlu, 2004). Ertekin Filiz (2015) elma örneklerinde su aktivitesi değerlerinin 0.963 – 0.974 arasında değiştiğini tespit etmiştir. Araştırma bulgusu literatür değerinden biraz düşük olmakla birlikte; Cemeroğlu (2004) tarafından verilen sınırlar kapsamında elma örneklerinin tazelik açısından beklenen su aktivite değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

Kuru madde (Briks) değerleri de Tablo 1'de görüldüğü gibi taze elma örneklerinde % 12.36 (Cameo ve Fuji) – 14.04 (Red Delicious) arasında değişmiştir. Briks değeri meyvelerin yeme uygunluğu açısından önem taşımaktadır. Meyvenin içerdiği nem miktarı yada sahip olduğu kuru madde düzeyi (briks değeri) onun tat lezzet ve tekstürü yönünden önem taşır. Briks değeri suda çözünür kuru madde (% SÇKM) olarak ta tanımlanmaktadır. SÇKM'yi glikoz-früktöz başta olmak üzere bazı organik asitlerin (sitrik, malik, tartarik) tuz formları oluşturmaktadır (Cemeroğlu,2004).Türkiye'de yerel elma çeşitlerinin suda çözünebilir kuru madde miktarı (briks – SÇKM) değerleri üzerine yapılan bazı çalışmalarda farklı sonuçlar elde edilmiştir. Ordu ilinin Ünye ilçesinde yetiştirilen yerel elma genotiplerinde briks miktarını % 9.50 – 13.5 (Bostan ve Acar, 2009) ve aynı ilin Kumru ilçesinde yetiştirilen yerel çeşitlere ait SÇKM miktarını % 9.40 – 13.60 briks (Balta ve ark.,2015) olarak tespit edilmiştir. Özrenk ve ark. (2011) Çatak (Van) ve Tatvan (Bitlis) yörelerine ait yerel elma çeşitlerinde SÇKM % 15.4-10.0 briks arasında, Şenyurt ve ark. (2015) Gümüşhane merkez ilçede 2011–2012 yılları arasında yetişen bazı standart ve yerel elma çeşitlerinde SÇKM % % 11.50-15.25 briks arasında ve Öztürk ve ak., (2015) Tokat şartlarında yetiştirilen Breaburn elmasında % SÇKM 11.6 – 13.3 briks arasında değişim gösterdiğini belirlemişlerdir. Briks ( $^{\circ}$ Bx) değeri olarak refraktometre ile 92 adet elmanın şeker içeriklerinin % 10,4 ile 17,8 arasında değiştiği örneklerin ortalamasının % 13,2 olduğu tespit edilmiştir (Schmutzler ve Huck, 2016). Güney Kore'de Geochang İlçesinden (Gyeongsang Eyaleti) 2015 yılında hasat edilen olgun ticari taze Fuji elmalarının (Malus pumila) ortalama briks düzeyi % 13.32 olarak tespit edilmiştir (Kim ve ark., 2017).

Tablo 1'de gösterildiği gibi, elma örneklerinde pH değerleri değişimi 4.22 (Golden Delicious) – 4.92 (Cameo) arasında tespit edilmiştir. pH değerleri de meyvelerin tat, lezzet nitelikleri dolaylı olarak yeme uygunluğu ve muhafaza edilmeleri hususunda önem taşıyan bir kriterdir. pH değeri, özellikle mikroorganizmaların (maya-küf) gelişimi açısından su aktivitesi ( $a_w$ ) ile sıkı ilişkisi olan temel muhafaza ölçütlerinden biridir (Cemeroğlu,2004). Ertekin Filiz (2015) elma örneklerinde pH değerlerinin 3.51 – 4.43 arasında değişim gösterdiğini belirlemiştir. Türkiye'de yerel elma çeşitlerinin suda çözünebilir pH değerleri üzerine yapılan bazı çalışmalarda farklı sonuçlar elde edilmiştir. Ordu ilinin Ünye ilçesinde yetiştirilen yerel elma genotiplerinde pH değerini 3.09 – 4.17 olarak (Bostan ve Acar, 2009) ve aynı ilin Kumru ilçesinde yetiştirilen yerel elma çeşitlere ait pH değerleri değişimi 2.83 – 4.11 olarak (Balta ve ark.,2015) kaydedilmiştir. Özrenk ve ark. (2011) Çatak (Van) ve Tatvan (Bitlis) bölgelerine ait yerel elma çeşitlerinde pH oranlarının % 4.6-3.4 değerleri arasında olduğu tespit etmiş olup, Şenyurt ve ark. (2015) Gümüşhane merkez ilçede 2011–2012 yılları arasında yetişen bazı standart ve yerel elma çeşitlerinde pH değerleri değişimini 3.53 – 4.87 olduğunu rapor etmiştir. Güney Kore'de Geochang İlçesinden (Gyeongsang Eyaleti) 2015 yılında hasat edilen olgun ticari taze Fuji elmalarının (Malus pumila) ortalama pH değeri 4.14 olarak tespit edilmiştir (Kim ve ark., 2017).



Briks ve pH üzerine literatür sonuçları araştırma bulgularına göre oldukça geniş bir değişim göstermekle birlikte; araştırma elma briks ve pH bulgularının genel olarak onlar ile uyumlu ve benzer bulunmuştur. Briks ve pH değerleri arasındaki farklılıklara elma türü, çeşidi, hasat zamanı ve şartları, agro-ekolojik şartlar (gübreleme [şelatlama], sulama, topografya), depolama şartları etki etmiş olması muhtemeldir.

Tablo 1’de görüleceği üzere radikal süpürücü antioksidan (DPPH) aktivite ölçümünün % 4.46 (Fuji) – % 17.24 (Red Delicious) arasında değiştiği belirlenmiştir. Antiradikal aktivitesi en düşük elma ile en yüksek arasında yaklaşık 4 kat fark vardır. Antioksidan içerik bakımından en yüksek elma türünden en düşük elma türüne sırayla bizim çalışmamızda Red Delicious (%17.24), Cameo (%10.00), Breaburn (%8.5), Golden Delicious (%5.02), Fuji (% 4,46) olarak tespit edilmiştir (Tablo 1). Türkiye’de yetiştirilen bazı yerli (Amasya, Arap Kızı) ve yabancı (Cooper, Gloster, Golden Delicious, Granny Smith, Rome Beauty ve Starking) elma çeşitlerinde antioksidant aktivite değeri değişimini %14.7 (Cooper) – %40.2 (Arap Kızı) arasında tespit edilmiştir (Karadeniz ve ark.,2005).Troja’daki Çek Tarım Üniversitesi Deneysel İstasyonu, Holovousy’daki Pomoloji Araştırma ve Yetiştirme Enstitüsü ve Prag Ruzyně’deki Prag-Ruzyně’deki Bitki Araştırma Enstitüsünde yetiştirilen ve 2004 yılında hasat edilen 15 farklı elma çeşidinin elma ve elma suları polifenol içerik ve antiradikal süpürme aktivitesi açısından değerlendirilmiştir. Anti radikal aktivite değerleri elmada en yüksek Rajka %17.52, Bohemia (%13.71) ve Melrose çeşidi (%13.69) en düşük ise Topaz çeşidinde (%7.04) ve Şampiyon (%7.16) olarak tespit edilmiştir (Lachman ve ark., 2006). Vojdylo ve ark. (2008) Batı Avrupa yetiştirilen eski ve yeni çeşit 67 farklı elma örneğinde DPPH değerlerini 10.1 - 129 µmol TE/100 g olarak tespit etmişlerdir. İran’da Kaşan ilinde (Kamsar) yetiştirilen dört farklı yerel elma çeşidinde DPPH değerlerinin değişimi %19 – 64 olarak tespit edilmiştir (Jelodorian ve ark.,2011). Wang ve ark (2015) Çin’de yetiştirilen kırmızı ve beyaz elmaların kabuğunda antioksidan radikal süpürücü aktivite (DPHH) değişimini sırasıyla % 17.1 – % 73 ve % 61.7 – % 81.8 olarak tespit etmiş olup, meyve etindeki değişim değerleri de sırasıyla % 94.6 – % 465.4 ile % 500.3 – % 867.3 arasında bulunmuştur. Antiradikal süpürücü (% DPPH) konusundaki araştırma sonuçları, genel olarak Karadeniz ve ark (2005) ve Jelodorian ve ark (2011) minimum değerleri ile, Lachman ve ark. (2006) bulgularına ise büyük ölçüde benzer ve uyumlu bulunmuştur. Wang ve ark (2015) DPHH bulguları araştırma sonuçlarından oldukça yüksek bulunmuştur. Antiradikal süpürücü değerlere arandaki farklılık elma çeşidi, türü ve agro ekolojik şartlardan (gübreleme ve sulama, yer/yöney, toprak şartları vs) etki etmiş olması muhtemeldir (Karadeniz ve ark.,2005; Wang ve ark. 2015)

Tablo 2. Afyonkarahisar’da tüketime sunulan elma örneklerinde X-rite Ci6x model renk tayin cihazıyla tespit edilen meyvenin kabuk ve etli kısımlarının sonuçları\*

		Red Delicious	Cameo	Breaburn	Fuji	Golden Delicious
KABUK RENGİ	L	33.00 ±1.40 d	33.64 ±1.60 d	41.70 ±1.90 c	47.56 ±4.62 b	73,05 ± 1.52 a
	a	27.08 ±1.75 b	28,15 ±1.90 b	32,24 ±0.40 a	21,96 ±2.50 c	-3,8 ±0.02
	b	10.25 ±2.25 d	10.67 ±1.50 d	17.06 ±2.25 c	24.52 ±3.80 b	44,79 ±1.60 a
MEYVE ETİ RENGİ	L	78.21 ±3.45 b	79,82 ±0.60 b	79,44 ±0.88 b	80,69 ±1.02 b	84,17 ±1.90 a
	a	0,22 ±0.05	-1,28 ±0.06	-0,40 ±0.05	-0,68 ±0.07	-0,94 ±0.04
	b	23.22 ±3.45 b	25.79 ±1.7 5 a	23.77 ±1.50 b	22.78 ±2.75 b	26.02 ±3.75 a

\*Aynı harfle gösterilen ortalamalar birbirinden farklıdır.

Taze elma meyve örneklerinde kabuk ve meyve etinde ayrı ayrı renk ölçümleri (L,a,b) gerçekleştirilmiştir. Örneklerin cihaz ekranından okunan Hunter L (parlaklık), a ([+] kırmızılık-yeşillik [-]) ve b (sarılık [+]-mavilik [-]) değerleri kaydedilmiştir. Renk değişimi meyve özellikleri içeriğindeki fenolik bileşenlerden etkilenmektedir. Tablo 2’de gösterildiği üzere taze meyve örneklerinin kabuk renginde L (parlaklık [0 (açık)–100 (koyu)]) değerleri 33.64 (Cameo) – 79.82 (Cameo) arasında tespit edilmiştir. Meyve kabuğu parlaklığı örnekler için en parlaktan en aza doğru sıralandığında Golden Delicious, Fuji, Breaburn, Cameo ve Red Delicious olmuştur. Kullanılan örneklerin doğal renkleri Golden Delicious (Sarı), Cameo (Kırmızı), Breaburn (Soluk kırmızı), Fuji (soluk kırmızı) ve Red Delicious (Kırmızı) olduğu görülmüştür. Elma örneklerinin kabuklarına ait a (kırmızılık [+60] – yeşillik [-60]) değerindeki değişim (-3.8) (Golden Delicious [doğal renk sarı]) ile 32.24 (Breaburn [doğal renk kırmızı]) arasında belirlenmiştir. Elma örneklerinin yine kabuklarına ait kaydedilen b (sarılık [+ 60]-mavilik [-60]) değerleri 10.25 (Red Delicious [doğal renk sarı]) – 44.79 (Golden Delicious [doğal renk sarı]) arasında bulunmuştur (Tablo 2).

Tablo 2’de görüldüğü gibi, meyve örneklerinin etinin renginde L (parlaklık [0 (açık)–100 (koyu)]) değerleri 78.21 (Red Delicious) – 84.17 (Golden Delicious) arasında belirlenmiştir. Meyve etinin parlaklığı örnekler için en parlaktan en aza doğru sıralandığında Golden Delicious, Fuji, Cameo, Breaburn ve Red Delicious olduğu görülmüştür (Tablo 2). Aynı örneklerin meyve etine ait (kırmızılık [+60] – yeşillik [-60]) değerindeki değişim (-0.40) (Breaburn [doğal meyve rengi kırmızı]) ile (-1.28) (Cameo [doğal meyve rengi kırmızı]) arasında tespit edilmiştir. Araştırma bulgularına göre, elma örneklerinin meyve eti renginin (a kırmızılık-yeşillik) sonuçları yeşile doğru olmuştur. Elma örneklerinin etine ait kaydedilen b (sarılık [60] – mavilik[60]) değerleri ise 22.78 (Fuji [doğal meyve kabuk rengi kırmızı]) – 26.02 (Golden Delicious [doğal meyve kabuk rengi sarı]) arasında bulunmuştur (Çizelge 2). Araştırma bulgularına göre, elma örneklerinin meyve eti renginin (b sarılık – mavilik) sonuçları sarıya doğru olmuştur.

Renk, aroma, tekstür ve gıda değeri gibi meyvelerin kalitesini oluşturan temel faktörlerdendir. Renk meyvelerin kabul edilebilirlik ve tüketici tercihiinde ilk faktör olarak önemli rol oynamaktadırlar. Yapılması resmi olarak zorunlu olmayan renk analizleri, son yıllarda bu konuda geliştirilen cihazların çeşitliliği ve tüketici algısının da ön tesbiti nedeniyle yaygın bir şekilde yapılabilir hale gelmiştir. Chong ve ark (2013) taze elmalarda meyve etinde renk değeri değişimini L: 64.15, a: 9.12 [kırmızı] ve b için ise 15.79 [sarı] olarak kaydetmiştir. Ertekin Filiz (2015) üç farklı elma örneğinde taze iken meyve etinde Hunter renk değerleri değişimini L (parlaklık) için 71.17 – 72.63, a [yeşillik] (-4.48) ile (-1.8) arasında ve b [sarılık] değerini ise 14.34 – 18.42 olarak belirlemiştir. Öztürk ve ak., (2015) Breaburn elmasında L değeri 71.30 – 75.19 arasında değiştiğini bildirmiştir. Araştırma bulgularının renk analiz sonuçlarının ilgili literatür bulguları ile genel olarak benzer ve uyumlu olduğunu ifade etmek mümkündür. Elma çeşit, tür ve olgunluk derecesi ve bazen hasat öncesi işlemlere bağlı olarak renk değerleri arasındaki farklılıklar ortaya çıkabilir.

## 4. Sonuç

Farklı agro-ekolojilerde önemli elma üretim merkezlerine ve dikkate değer yerli-yabancı elma çeşit/türlerine sahip olan ülkemizde; elma günlük meyve tüketiminde en önde gelen meyvelerdendir. Afyon İli Merkezinde tüketime sunulan bazı önemli yabancı elma çeşitlerinin dikkate değer kalite özelliklerine göre yeterli miktarda briks düzeyini içerdiği, meyvelerin asidik nitelikte olduğu ve beslenme fizyolojisi açısından da önem taşıyan antioksidan (radikal süpürücü DPPH) oranlarına sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

## Kaynakça

- Balta M.F., Kaya T., Kırkaya H., & Karakaya O. (2015). Kumru (Ordu) Yöresinde Yetiştirilen Mahalli Elma Genotiplerinin Fenolojik, Morfolojik ve Pomolojik Özellikleri. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*.32 (1): 47 -56
- Bostan, S.Z., & Acar, Ş. (2009). Ünye (Ordu) çevresinde yetiştirilen mahalli elma çeşitlerinin pomolojik özellikleri. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 2: 15-24.
- Boyer, J. & Liu, R. H. (2004). Apple phytochemicals and their health benefits. *Nutrition Journal*, 15, 1–15.
- Cemeroğlu B. (2004). *Meyve Sebze İşleme Teknolojisi 2*. 2. Baskı. Ankara, Türkiye, Bizim Grup Basımevi.
- Choi, S.-H., Kozukue, N., Kim, H.-J., & Friedman, M. (2016). Analysis of protein amino acids, non-protein amino acids and metabolites, dietary protein, glucose, fructose, sucrose, phenolic, and flavonoid content and antioxidative properties of potato tubers, peels, and cortexes (pulp). *Journal of Food Composition and Analysis*, 50, 77–87.
- Chai S.C., Hooshmand, S., Saadat R.L., Payton, M.E., Brummel - Smith, K., Arjmandi B.H. (2012). Daily Apple versus Dried Plum: Impact on Cardiovascular Disease Risk Factors in Postmenopausal Women. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 112(8), 1158–1168. <http://doi.org/10.1016/j.jand.2012.05.005>
- Chong C.H, Law, C.L., Figiel, A., Wojdyło, A., & Oziembłowski M. (2013). Colour, phenolic content and antioxidant capacity of some fruits dehydrated by a combination of different methods. *Food Chemistry* 141: 3889–3896
- Ertekin Filiz, B.(2015). Elma cipsinin bazı kalite ve antioksidan özelliklerine kurutma ambalajlama ve depolamanın etkisi. (Doktora Tezi, Basılmamış). Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Gıda Mühendisliği ABD.176 sayfa. Isparta
- Filiz, B. E., & Seydim, A. C. (2014). Bazı Kurutulmuş Meyvelerin Antioksidan Özellikleri. *Türk Tarım - Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2(3), 128–131.
- FAO, (2018). Statistics Division of Food and Agriculture Organization of the United Nations). <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>( erişim tarihi: 18 /08/2019)
- Fu, L., Xu, B.T., Xu, X.R., Gan, R.Y., Zhang, Y., Xia, E.Q., & Li H.B., 2011. Antioxidant capacities and total phenolic contents of 62 fruits. *Food Chem.*, 129: 345-350 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.04.079>
- İçli, N. (2017). Elma Ekşilerinde Toplam Fenolik Bileşikler, Toplam Antioksidan Kapasite Ve Toplam Flavonoid Maddelerin Tespiti. *Sağlık Akademisi Kastamonu*, 2(2), 89–99.
- Karadeniz, F., Burdurlu, H.S., Koca, N., & Soyer, Y. (2005). Antioxidant Activity of Selected Fruits and Vegetables Grown in Turkey. *Turk J Agric For* 29 : 297-303
- Kalinowska, M., Bielawska, A., Lewandowska-Siwkiewicz, H., & Priebe, W. (2014). Apples: Content of phenolic compounds vs. variety, part of apple and cultivation model, extraction of phenolic compounds, biological properties. *Plant Physiology and Biochemistry*, 84, 169–188. <http://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.09.006>
- Kim, A., Kim, H., Kerr, W. L., & Choi, S. (2017). The effect of grinding at various vacuum levels on the color, phenolics, and antioxidant properties of apple. *Food Chemistry*, 216, 234–242. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.025>
- Lachman, J., Šulc, M., Sus, J., & Pavlíková, O. (2006). Polyphenol content and antiradical activity in different apple varieties. *Hort. Sci. (Prague)*, 33(3), 95–102.
- Özrenk, K., Gündoğdu, M., Kaya, T., & Kan, T., (2011). Çatak ve Tatvan Yörelerinde Yetiştirilen, Yerel Elma Çeşitlerinin Pomolojik Özellikleri, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 21(1), 57-63
- Öztürk, B., Özkan, Y., Kılıç, K., Uçar, M., Karakaya, O., Karakaya, M. (2015). Braeburn Elmasının (Malus domestica Borkh.) Hasat Önü Dökümü ve Meyve Kalitesi Üzerine, Hasat Öncesi Bitki Gelişim Düzenleyici Uygulamalarının Etkisi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 32 (1): 68-76
- Raudone, L., Raudonis, R., Liaudanskas, M., & Janulis, V. (2017). Phenolic antioxidant profiles in the whole fruit, flesh and peel of apple cultivars grown in Lithuania. *Scientia Horticulturae*, 216, 186–192. <http://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.005>
- Schmutzler, M., & Huck, C. W. (2016). Simultaneous detection of total antioxidant capacity and total soluble solids content by Fourier transform near-infrared (FT-NIR) spectroscopy: A quick and sensitive method for on-site analyses of apples. *Food Control*, 66, 27–37. <http://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.01.026>

- Soysal İ. 1998. Biometrinin Temel Prensipleri. Trakya Univ. Tekirdağ Ziraat Fak. Yay. No. 95. Tekirdağ
- Şenyurt, M., Kalkışım, Ö., ve Karadeniz, T. (2015). Gümüşhane yöresinde yetiştirilen bazı standart ve mahalli elma (*Malus communis* L.) çeşitlerinin pomolojik özellikleri. *Akademik Ziraat Dergisi*, 4(2), 59-64.
- TEPGE.2017. Elma Raporu. (Hazırlayan:Ferya TAŞÇI) Tarım ve Orman Bakanlığı. Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü. Ankara.  
<https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF%20C3%9Cr%C3%BCn%20Raporlar%C4%B1/2017%20C3%9Cr%C3%BCn%20Raporlar%C4%B1/Elma%20C3%9Cr%C3%BCn%20Raporu%202017-296.pdf> (erişim tarihi 12.09.2019)
- Tsao, R. (2016). Apples. *Encyclopedia of Food and Health*, 239–248.
- Wang X, Li C, Liang D, Zou Y, Li P., & Ma F. (2015). Phenolic compounds and antioxidant activity in red-fleshed apples. *Journal of Functional Foods* 1: 1086–1094 <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.06.013>
- Wojdyło A, Oszmiański J., & Laskowski P., (2008). Polyphenolic compounds and antioxidant activity of new and old apple varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56: 6520–6530. doi: 10.1021/jf800510j. Epub 2008 Jul 9. <https://www.worldatlas.com/articles/top-apple-producing-countries-in-the-world.html> (erişim tarihi 12.09.2019)
- Young, I. S., & Woodside, J. V. (2001). Antioxidants in health and disease. *J Clin Pathol*, 54, 176–186.



## 3-Fenil-5-(4-pridil)-1,2,4-triazol Molekülünün DFT(B3LYP/B3PW91)/HF ile Spektroskopik, Geometrik, Termodinamik ve Elektronik Analizi

Gül Kotan<sup>1\*</sup>, Haydar Yüksek<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kafkas Üniversitesi, KMYO, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü, Kars, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4507-9029)

<sup>2</sup>Kafkas Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Kars, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1289-1800)

(İlk Geliş Tarihi 5 Kasım 2019 ve Kabul Tarihi 13 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.643080)

**ATIF/REFERENCE:** Kotan, G. & Yüksek, H. (2019). 3-Fenil-5-(4-pridil)-1,2,4-triazol Molekülünün DFT(B3LYP/B3PW91)/HF ile Spektroskopik, Geometrik, Termodinamik ve Elektronik Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 933-943.

### Öz

3-Fenil-5-(4-pridil)-1,2,4-triazol bileşiğinin moleküler geometrik optimizasyonu 6-311G(d,p) ve 3-21G temel setinde DFT(B3LYP, B3PW91)/ HF metodları kullanılarak elde edilmiştir. Böylece, bileşiğin en kararlı geometrik şekli çeşitli metod ve setlerle bulunmuştur. Deneysel spektral incelenmeler FT-IR değerleri ve <sup>1</sup>H/ <sup>13</sup>C-NMR kimyasal kaymaları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Geometrik yapı analizleri (bağ açıları, bağ uzunlukları), Proton/ Karbon NMR kimyasal kaymaları, termodinamik parametreler, HOMO-LUMO analizleri, elektronik özellikler, mulliken yükleri, titreşimsel dalgalanmalar, dipol momenti, başlıca molekülünün toplam enerjisi "Gaussian 09W" paket programı kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuçlar, GaussView5.0 programında değerlendirilmiştir. Hesaplamalı IR verileri Veda4f programında belirlenmiş ve bu harmonik titreşim frekansları belirli faktörler ile ölçeklendirilmiştir. Deneysel değerler literatürden alınmıştır. Deneysel spektral değerler hesaplanan IR verileri ile karşılaştırılmıştır. Proton Nükleer Manyetik Rezonans (<sup>1</sup>H-NMR) ve Karbon-13 Nükleer Manyetik Rezonans (<sup>13</sup>C-NMR) spektral değerleri, gaz fazında ve DMSO çözücüsünde GIAO yöntemine göre hesaplanmıştır. Bu değerler deneysel proton / karbon nmr verileriyle karşılaştırılmış ve sonuçlara göre regresyon analizi yapılmıştır. Ayrıca farklı yöntemlerle elde edilen ve fonksiyonel olan teorik sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır. Bundan başka, HOMO-LUMO enerji hesaplamaları ile kimyasal sertlik ( $\eta$ ), elektronegatiflik ( $\chi$ ), iyonlaşma potansiyeli (I), kimyasal yumuşaklık ( $\sigma$ ), elektron ilgisi (A) gibi parametreler belirlenmiştir. Elektron yoğunluğu moleküler yüzeyler, elektron spin potansiyeli (ESP), moleküler elektrostatik potansiyel (MEP), toplam yoğunluk ve kontur haritaları belirlenmiştir. Böylece farklı metodlar, fonksiyonlar ve setler ile molekülün tüm teorik parametreleri hesaplanmıştır. Sonuçta bu veriler karşılaştırılmış ve en uygun yöntem ve set bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** 1,2,4-Triazol, B3LYP, B3PW91, HOMO-LUMO, GIAO.

## Spektroscopic, Geometric, Thermodynamic and Electronic Analysis with DFT(B3LYP/B3PW91)/HF of 3-Phenyl-5-(4-pyridyl)-1,2,4-triazole Molecule

### Abstract

The molecular geometric optimization of 3-Phenyl-5-(4-pyridyl)-1,2,4-triazole compound was obtained using DFT(B3LYP, B3PW91)/ HF methods at the 6-311G(d,p) and 3-21G basis sets. Thus, the most stable geometric conformer of the compound was found by various methods and sets. The experimental spectral investigations were performed using FT-IR values and <sup>1</sup>H/<sup>13</sup>C-NMR chemical shifts. Geometric structure analyses (bond angles, bond lengths), Proton/Carbon NMR chemical shifts, thermodynamic parameters, HOMO-LUMO analyses, electronic properties, mulliken charges, vibrational wavenumbers, dipole moment, total energy

\* Sorumlu Yazar: Kafkas Üniversitesi, KMYO, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü, Kars, Türkiye ORCID: 0000-0002-4507-9029, [gulkemer@hotmail.com](mailto:gulkemer@hotmail.com)



of the title molecule were calculated using Gaussian 09W software package. The results were improved at the GaussView5.0 program.

Computation IR data was determined at the Veda4f program and these harmonic vibrational frequencies were scaled with definite factor. Experimental data obtained from the literature. The experimental spectral values were compared with computed IR data. Proton Nuclear Magnetic Resonance (<sup>1</sup>H-NMR) and Carbon-13 Nuclear magnetic Resonance (<sup>13</sup>C-NMR) spectral values was calculated in gas phase and in DMSO solvent according to GIAO method. These values were compared with experimental proton/carbon NMR data and regression analysis were performed according to the results. Also, the theoretical results obtained with different methods and functional were compared with each other. Furthermore, parameters such as chemical hardness ( $\eta$ ), electronegativity ( $\chi$ ), ionization potential (I), chemical softness ( $\sigma$ ), electron affinity (A) were determined with HOMO-LUMO energies calculations. The molecular surfaces such as the electron density, the electron spin potential (ESP), molecular electrostatic potential (MEP), the total density and contour maps were designated. Thus, all theoretical parameters of molecule were calculated with different methods, functionals and sets. In the result, these data were compared and the most appropriate method and set were found.

**Keywords:** 1,2,4-Triazole, B3LYP, B3PW91, HOMO-LUMO, GIAO.

## 1. Giriş

3,5-Disübstitüe-1,2,4-triazol bileşiklerin sentezi için genel metod, alkilhidrazinler ile imin esterlerin kondenzasyonudur (Postovskii & Vereshchagina, 1954; Brown & Polya, 1962) Aril sübstituentlerini taşıyan 1,2,4-triazol türevleri, alkil gruplarını taşıyanlara nazaran daha kararlıdır ve reaksiyona girme yatkınlıkları daha fazladır. 1,2,4-Triazol içeren Schiff bazları ilaç ve koordinasyon kimyası için önemli bileşiklerdir ve antibiyotik, antitümör, antipsikolojik, antiallerjik gibi bazı önemli ilaçların sentezinde başlatıcı madde olarak kullanılmışlardır (Barton & Ollis, 1979; Ingold, 1969; Layer, 1963). Ayrıca, günümüzde bilinen antifungal ajanların (Patel & Park, 2014) yapısında 1,2,4-triazol taşıyan moleküller vardır bu yapılar tarımsal mantarların tedavisinde etkindir ve bu amaç için 1,2,4-triazol türevleri birçok sebze ve mahsülün üretimini arttırmak için kullanılır (Fletcher ve ark., 2010). Ek olarak, antibakteriyel (Mari ve ark., 2008) antikanser (Krzysztof ve ark., 2008) antiinflammatör (Tozkoparan ve ark., 2007), antioksidan (Yüksek ve ark., 2011) aktivite de gösterirler ve anastrozole (Buzdar, 2002; Wellington & Faulds, 2002) estazolam (Vogel & Morris, 1992; Cohn ve ark., 1992) ribavirin (Hong & Cameron, 2002; Rockstroh, 2002; Graci, 2002) triazolam (Kanamitsu ve ark., 2000; Lobo & Greene, 1997) gibi önemli ilaçların yapılarında 1,2,4-triazol halkası bulunmaktadır. Bundan başka boya ve plastik endüstride yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Casaszar ve ark., 1985; Sheikhshoae & Sharif, 2006). Bu yapısal ve biyolojik özelliklerinden dolayı 1,2,4-triazol türevlerinin dizaynı ve sentezi giderek artmıştır. 1,2,4-Triazol bileşiklerini içeren birçok çalışma mevcuttur. Bu bileşiklerin metal kompleksleri, eczacılık, tıp ve biyolojik sistemlerde yaygın bir şekilde kullanılmıştır ve oksidasyon, epoksidasyon ve hidroksilasyon reaksiyonlarında yüksek katalitik aktivite sergilemişlerdir (Prakash & Adhikari, 2011; Gupta & Sutar, 2008; Jia & Li, 2014; Himeda ve ark., 2003; Cozzi, 2004).

Son yıllarda, hesaplamalı kimyanın gelişmesi ve moleküler modellemeye duyulan ihtiyacın artmasıyla teorik hesaplama metotları yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. 1,2,4-Triazol bileşiklerinin de teorik tüm parametreleri incelenmiştir (Pokharia ve ark., 2017; Yüksek ve ark., 2017; Kotan & Yüksek, 2016; Karunakaran & Balachandran, 2012; Suvitha ve ark., 2014). Bunun için Kuantum kimyası hesaplamalarının temelini oluşturan Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi (DFT) ve Hatree Fock (HF) yöntemlerinden yararlanılmıştır (Frisch ve ark., 2009; Wolinski ve ark., 1990). Üç parametrelili değiş tokuş-korelasyon fonksiyonu olan Perdew ve Wang (PW91) ve Lee-Yang-Parr korelasyon fonksiyonu (B3LYP), elektron yoğunluğunu hesaplamayı hedefleyen DFT metodunun fonksiyonlarıdır (Becke, 1988; Becke, 1993; Lee ve ark., 1988; Perdew, 1986a; Perdew, 1992). Daha detaylı ve güvenilir sonuçlar sağlayan 6-311G(d,p) ve daha kısa sürede sonuçlanan 3-21G gibi temel setler ile hesaplama yapılmaktadır. Seçilen yöntemler ve setler ile bir molekülün yapısal özelliklerini, geometrisini, iç enerjisini, spektroskopik özelliklerini, elektronik ve termodinamik özelliklerini belirlemek mümkündür. <sup>13</sup>C/ <sup>1</sup>H-NMR ve IR spektral verileri (Wolinski ve ark., 1990) teorik olarak aynı yöntem ve metodlar ile hesaplanarak, literatürden (Bahçeci ve ark., 2005) alınan deneysel spektral veriler ile karşılaştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Deneysel

#### *3-Fenil-5-(4-pridil)-1,2,4-triazol Deneysel Spektral Verileri*

Reaksiyon sıcaklığı: 200-205 °C, Verim: 2.00 g (%90), E.n: 236-37 °C; IR ( $\nu$ , cm<sup>-1</sup>): 3180 (NH), 1615-1595 (C=N), 755, 695 (monosübstitüe benzen); <sup>1</sup>H-NMR (400 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>):  $\delta$ : 7.35-8.50 (m, 9H, Ar-H), 14.30 (s, 1H, NH); <sup>13</sup>C-NMR (100 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>):  $\delta$ : 121.60, 127.52, 127.98, 129.40, 129.77, 130.68, 133.60, 135.00, 140.90, 151.92, 154.70 (Ar-C), 158.20, 160.71 (Triazol-C).

### 2.2. Hesaplama Detayları

Sentezi gerçekleştirilmiş bir molekülün deneysel verilerini destekler nitelikte olan bu çalışma da, tüm hesaplamalar çok sayıda metod ve temel set seçeneğine sahip olan Gaussian 09W paket programı ile gerçekleştirilmiştir. DFT(B3LYP, B3PW91) ve HF metodlarıyla 6-311G(d,p) ve 3-21G baz setleri kullanılarak molekülün geometrik, elektronik, spektroskopik ve termodinamik

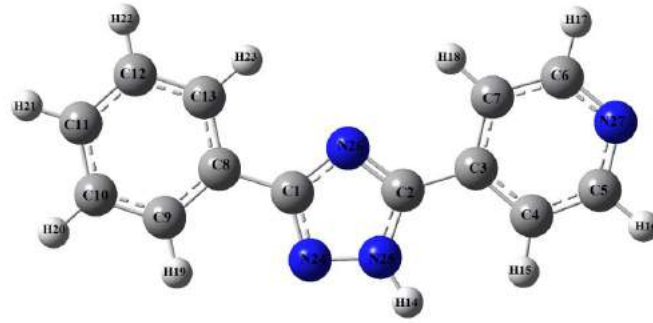


parametreleri hesaplanmıştır (Frisch ve ark., 2009; Wolinski ve ark., 1990). Bu aşamada öncelikle, molekülün düşük enerjili, en kararlı üç boyutlu yapısına ulaşmak gereklidir bunun için "Gaussview 5.0" programında (Dennington ve ark., 2009) molekül çizilmiştir ve Gaussian 09W programında seçtiğimiz metod ve temel set ile molekül optimize edilmiştir. Bu en kararlı yapıdan yola çıkarak tüm hesaplamalar yapılmıştır. Karbon ve proton NMR kimyasal kayma değerleri değerleri GIAO metodu ile gaz fazında ve çözücü (DMSO) varlığında hesaplanmış deneysel veriler ile karşılaştırılarak regrasyon analizleri yapıp grafikleri çizilmiştir. Yine yapı aydınlatılmasında yaygın bir analiz yöntemi olan IR harmonik titreşim frekans değerleri "Veda4f" programı ile hesaplanmıştır (Jamróz, 2004). Elde edilen veriler her metod ve set için belirlenmiş olan skala faktörleri ile çarpılarak skalalı değerlere ulaşılmıştır (Merrick, 2007). Titreşim frekans değerleri kullanılarak teorik IR spektrumları oluşturulmuştur ve deneysel spektrumlar ile karşılaştırılmıştır. Başlıca molekülün geometrik özellikleri (bağ uzunluğu, açısı), elektronegativite ( $\chi$ ), toplam enerji, atomik yükler, dipol moment ( $\mu$ ), kimyasal sertlik ( $\eta$ ) ve yumuşaklık (S), iyonlaşma potansiyeli (I), enerji farkı ( $\Delta E_g$ ), dönme sabitleri, entropi değerleri, termal enerjisi ve termal kapasitesi gibi özellikleri DFT(B3LYP, B3PW91) ve HF yöntemi ile 6-311G(d,p) ve 3-21G farklı iki temel setde hesaplanmıştır. Ayrıca moleküler elektron potansiyel (MEP), yüzey haritaları (elektron potansiyeli ve elektron yoğunluk potansiyeli), toplam yoğunluk gibi yüzey şekilleri belirlenmiştir.

### 3. Bulgular

#### 3.1. Geometri Optimizasyonu

Molekülün geometrik optimizasyonu, gaz ortamında ve temel halde atomların düşük enerjili en kararlı konumlarıdır. Molekülün optimizasyonu DFT(B3LYP, B3PW91) ve HF metodlarıyla 6-311G(d,p) ve 3-21G baz setleri kullanılarak elde edilmiştir ve Şekil.1' de gösterilmiştir. Optimize Gauss-view görüntüsünden geometrik özellikler (bağ açısı ve bağ uzunluğu) bulunmuştur. Bağ uzunlukları ve bağ açılarının literatürde kayıtlı veriler ile kıyaslaması yapılmıştır. DFT (B3LYP, B3PW91), HF için sırası ile 6-311G(d,p)/3-21G setlerine göre hesaplanan C1-N24; C1-N26; C2-N25; C2-N26; C5-N27; C6-N27 bağ uzunlukları 1.331, 1.329,1.296/ 1.347, 1.347, 1.307; 1.365, 1.360, 1.357/ 1.384, 1.381, 1.375; 1.357, 1.353, 1.332/1.367, 1.364, 1.345; 1.323, 1.320, 1.298/ 1.339, 1.338, 1.309; 1.337, 1.334, 1.320/ 1.353,1.351, 1.332; 1.335, 1.332, 1.317/ 1.349,1.347, 1.328 Å olarak bulunmuştur ve Tablo 1'de gösterilmiştir. Literatüre kayıtlı bağ uzunlukları ise C=N; 1,27 Å ve C-N; 1.47 Å'dur. Ayrıca literatürdeki veriler ile kıyaslanacak bir başka bağ uzunlukları ise benzen halkasındaki C-C ve C-H uzunluklarıdır. Moleküldeki benzen halkasının C-C bağ uzunlukları ortalama değerleri B3LYP, B3PW91 ve HF için 6-311G(d,p)/ 3-21G setlerine göre sırası ile 1.39, 1.39, 1.38/ 1.39, 1.39, 1.38 olarak; C-H ortalama bağ uzunluğu ise 1.083, 1.084, 1.074/ 1.082, 1.083, 1.074 Å olarak hesaplanmıştır. Literatürde benzen halkasındaki bağ uzunlukları C-C; 1.39 Å ve C-H; 1.08 Å olarak ölçülmüştür. Bağ uzunlukları verileri kendi aralarında metodlara göre değerlendirildiğinde 6-311G(d,p) ve 3-21G setlerinin her ikisinde DFT fonksiyonları B3LYP, B3PW91 ile hesaplanan bağ uzunluk değerleri kendi aralarında ve literatürle uyumludur.



Şekil 1. Bileşiğin B3PW91/6-311G(d,p) seviyesine göre optimize yapı geometrisi

**Tablo 1.** Bileşiğin B3LYP, B3PW91 ve HF 6-311G(d,p)/ 3-21G temel setleri ile hesaplanmış bağ uzunlukları ( $A^0$ )

Bağ Uzunlukları	6-311G(d,p)			3-21G		
	B3LYP	B3PW91	HF	B3LYP	B3PW91	HF
C(1)-C(8)	1.496	1.465	1.476	1.459	1.456	1.461
C(1)-N(24)	1.331	1.329	1.296	1.347	1.347	1.307
C(1)-N(26)	1.365	1.360	1.357	1.384	1.381	1.375
N(24)-N(25)	1.348	1.339	1.337	1.404	1.397	1.391
N(25)-C(2)	1.357	1.353	1.332	1.367	1.364	1.345
C(2)-N(26)	1.323	1.320	1.298	1.339	1.338	1.309
N(25)-H(14)	1.007	1.007	0.991	1.010	1.010	0.992
C(2)-C(3)	1.463	1.460	1.475	1.457	1.455	1.462
C(3)-C(4)	1.398	1.396	1.386	1.403	1.401	1.386
C(4)-H(15)	1.081	1.082	1.071	1.081	1.082	1.068
C(4)-C(5)	1.389	1.387	1.382	1.390	1.389	1.379
C(5)-H(16)	1.086	1.087	1.075	1.083	1.084	1.369
C(5)-N(27)	1.337	1.334	1.320	1.353	1.351	1.332
N(27)-C(6)	1.335	1.332	1.317	1.349	1.347	1.328
C(6)-H(17)	1.086	1.087	1.076	1.084	1.085	1.069
C(6)-C(7)	1.391	1.389	1.383	1.393	1.392	1.382
C(7)-H(18)	1.084	1.085	1.074	1.083	1.084	1.070
C(3)-C(7)	1.399	1.396	1.386	1.401	1.400	1.385
C(8)-C(9)	1.399	1.397	1.387	1.401	1.399	1.386
C(9)-H(19)	1.082	1.083	1.073	1.082	1.083	1.069
C(9)-C(10)	1.391	1.389	1.384	1.393	1.392	1.382
C(10)-H(20)	1.084	1.085	1.075	1.083	1.084	1.071
C(10)-C(11)	1.393	1.391	1.383	1.397	1.396	1.384
C(11)-H(21)	1.084	1.085	1.075	1.083	1.084	1.071
C(11)-C(12)	1.394	1.392	1.386	1.398	1.397	1.385
C(12)-H(22)	1.084	1.085	1.075	1.083	1.084	1.071
C(12)-C(13)	1.389	1.387	1.381	1.392	1.391	1.381
C(13)-H(23)	1.082	1.084	1.073	1.082	1.084	1.070
C(13)-C(8)	1.401	1.398	1.390	1.402	1.400	1.387

**Tablo 2.** Bileşiğin B3LYP, B3PW91 ve HF 6-311G(d,p)/ 3-21G temel setleri ile hesaplanmış bağ açıları ( $^{\circ}$ )

Bağ Açılı	6-311G(d,p)			3-21G		
	B3LYP	B3PW91	HF	B3LYP	B3PW91	HF
N(24)-C(1)-N(26)	113.791	113.882	113.647	114.055	114.055	113.129
N(24)-N(25)-C(2)	110.802	110.945	110.061	110.353	110.485	109.441
N(24)-N(25)-H(14)	119.352	119.361	119.961	118.838	118.740	119.339
H(14)-N(25)-C(2)	129.846	129.694	129.978	130.809	130.775	131.220
N(25)-C(2)-C(3)	125.277	125.316	125.125	126.151	126.267	125.937
N(26)-C(2)-C(3)	126.080	126.027	125.542	124.854	124.754	124.905
N(25)-C(2)-N(26)	108.643	108.657	109.333	108.995	108.979	109.158
N(24)-C(1)-C(8)	122.795	122.680	123.347	123.084	123.034	124.137
N(26)-C(1)-C(8)	123.415	123.438	123.006	122.861	122.912	122.734
C(1)-C(8)-C(9)	120.069	120.020	120.049	119.664	119.601	119.657
C(1)-C(8)-C(13)	120.601	120.567	120.482	120.509	120.490	120.430
C(8)-C(9)-H(19)	118.961	118.909	119.345	118.601	118.604	119.022
H(19)-C(9)-C(10)	120.820	120.914	120.463	121.436	121.470	121.037
H(20)-C(10)-C(11)	120.052	120.055	120.109	120.002	120.014	120.066
C(10)-C(11)-H(21)	120.148	120.136	120.134	120.080	120.074	120.065
H(21)-C(11)-C(12)	120.117	120.109	120.086	120.040	120.035	120.025
H(22)-C(12)-C(13)	119.709	119.714	119.735	119.826	119.817	119.814
C(12)-C(13)-H(23)	120.596	120.663	120.336	121.020	121.036	120.725
H(23)-C(13)-C(8)	119.191	119.166	119.447	119.016	119.049	119.299
C(2)-C(3)-C(4)	119.556	119.410	119.440	118.583	118.415	118.619
C(2)-C(3)-C(7)	122.887	122.983	122.572	123.191	123.299	122.693
C(3)-C(4)-C(5)	118.805	118.741	118.430	118.872	118.822	118.656
C(3)-C(4)-H(15)	119.799	119.739	120.392	119.087	119.066	119.619
H(15)-C(4)-C(5)	121.396	121.520	121.179	122.041	122.111	121.724
C(4)-C(5)-N(27)	123.980	124.046	123.790	123.401	123.437	122.627
C(4)-C(5)-H(16)	120.015	119.988	119.977	120.233	120.232	120.638
H(16)-C(5)-N(27)	116.005	115.966	116.233	116.366	116.330	116.735
C(5)-N(27)-C(6)	116.896	116.846	117.582	117.272	117.243	118.771
N(27)-C(6)-H(17)	116.170	116.123	116.394	116.522	116.468	116.882
N(27)-C(6)-C(7)	123.856	123.941	123.633	123.417	123.482	122.568
C(6)-C(7)-H(18)	119.051	119.050	119.099	119.523	119.486	119.491
H(18)-C(7)-C(3)	122.044	122.131	122.324	121.666	121.785	121.820

### 3.2. Mulliken Atom Yük Verileri

Molekülün atomlarının mulliken yük değerleri B3LYP ,B3PW91 ve HF metodları ve 6-311G(d,p) ve 3-21G farklı iki temel set ile hesaplanmıştır. Muliken atom yük verileri ile dipol moment değerleri elde edilmiştir. DFT(B3LYP, B3PW91) ve HF 6-311G(d,p)/

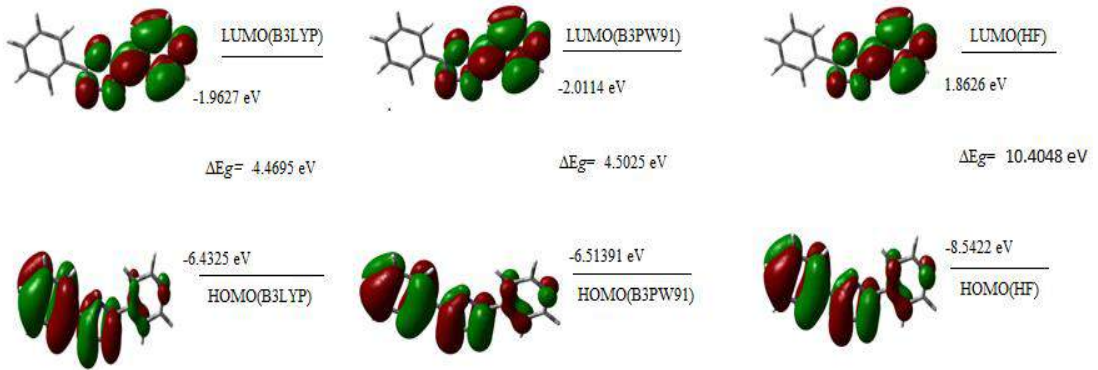
3-21G ile hesaplama sonuçlarına göre moleküldeki N24, N25, N26, N27 elektronegatif atomlarının mulliken atomik yükleri negatif, moleküldeki tüm protonların mulliken yükleri her iki yöntem ve metoda göre pozitif olarak hesaplanmıştır. Ayrıca "C1, C2, C5, C6" atomları tüm metod ve setlerde pozitif mulliken yük değerindeyken, diğer karbon atomları negatif değerde bulunmuştur. Bunun nedeni, C1, C2 atomlarına komşu iki tane elektronegatif azot atomu , C5, C6 atomlarına komşu bir tane elektronegatif azot atomu vardır.

**Tablo 3.** Bileşiğin B3LYP, B3PW91 ve HF 6-311G(d,p)/ 3-21G temel setleri ile hesaplanmış mulliken atom yükleri

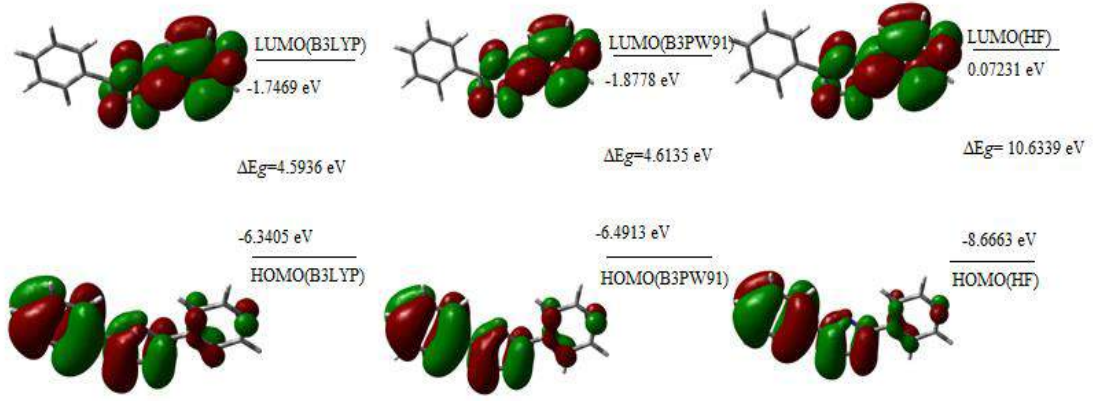
	6-311G(d,p)			3-21G		
	B3LYP	B3PW91	HF	B3LYP	B3PW91	HF
C1	0.290	0.339	0.477	0.485	0.491	0.637
C2	0.438	0.486	0.595	0.656	0.668	0.835
C3	-0.102	-0.117	-0.082	-0.016	-0.039	-0.082
C4	-0.108	-0.126	-0.182	-0.217	-0.240	-0.285
C5	0.076	0.094	0.169	0.072	0.051	0.131
C6	0.070	0.087	0.166	0.078	0.057	0.137
C7	-0.127	-0.146	-0.206	-0.246	-0.269	-0.313
C8	-0.196	-0.234	-0.225	-0.055	-0.279	-0.161
C9	-0.021	-0.019	-0.060	-0.182	-0.203	-0.207
C10	-0.097	-0.108	-0.081	-0.182	-0.213	-0.235
C11	-0.080	-0.088	-0.093	-0.182	-0.212	-0.234
C12	-0.095	-0.106	-0.079	-0.182	-0.213	-0.235
C13	-0.026	-0.026	-0.058	-0.187	-0.207	-0.209
H14	0.243	0.252	0.253	0.353	0.373	0.402
H15	0.119	0.131	0.128	0.227	0.258	0.296
H16	0.116	0.127	0.117	0.218	0.247	0.266
H17	0.113	0.123	0.114	0.216	0.244	0.264
H18	0.079	0.090	0.083	0.175	0.205	0.237
H19	0.103	0.115	0.111	0.209	0.240	0.275
H20	0.095	0.105	0.098	0.188	0.219	0.242
H21	0.095	0.105	0.098	0.188	0.218	0.242
H22	0.095	0.105	0.098	0.188	0.219	0.242
H23	0.099	0.110	0.107	0.206	0.237	0.271
N24	-0.212	-0.235	-0.291	-0.320	-0.321	-0.380
N25	-0.298	-0.322	-0.358	-0.587	-0.611	-0.746
N26	-0.383	-0.424	-0.513	-0.583	-0.590	-0.731
N27	-0.285	-0.318	-0.386	-0.521	-0.531	-0.659

### 3.3. HOMO-LUMO Enerjileri ve Elektronik Özellikleri

Frontier Moleküler orbitalleri (FMO) olan Homo-Lumo kinetik kararlılığı, elektron geçişlerini, elektrik ve optik özellikleri açıklar. HOMO yüksek enerjili dolu moleküler orbitali, LUMO ise düşük enerjili boş moleküler orbitali ifade eder. Ayrıca HOMO elektron veren, LUMO ise elektron alan ifadelerini karşılar ve bu iki orbitalin enerji boşluğu " $\Delta E_g$ " kinetik kararlılık için çok önemlidir. " $\Delta E_g$ " enerji farkı ne kadar düşükse molekül daha karardır. Molekülün B3LYP, B3PW91, HF 6-311G(d,p)/ 3-21G ile HOMO-LUMO enerjileri teorik olarak bulunmuştur. B3LYP/6-311G(d,p) için  $\Delta E_g= 4.4695$  eV, B3PW91/6-311G(d,p) için  $\Delta E_g=4.5025$  eV, HF/6-311G(d,p) için  $\Delta E_g= 10.4048$  eV; B3LYP/ 3-21G için  $\Delta E_g= 4.5936$  eV, B3PW91/ 3-21G için  $\Delta E_g= 4.6135$  eV, HF/ 3-21G için  $\Delta E_g= 10.6339$  eV olarak hesaplanmıştır ve Şekil 2, 3'de gösterilmiştir. Ayrıca elde edilen HOMO-LUMO enerji farkından faydalanarak molekülün tüm elektronik parametreleri hesaplanmıştır (Tablo 4).



**Şekil 2.** Bileşiğin B3LYP, B3PW91, HF 6-311G(d,p) seviyesine göre HOMO-LUMO enerjileri



Şekil 3. Bileşiğin B3LYP, B3PW91, HF 3-21G seviyesine göre HOMO-LUMO enerjileri

Tablo 4. Bileşiğin B3LYP, B3PW91, HF 6-311G(d,p)/ 3-21G temel setleri ile hesaplanmış elektronik özellikleri

	B3LYP 6-311G(d,p) eV	B3PW91 6-311G(d,p) eV	HF 6-311G(d,p) eV	B3LYP 3-21G eV	B3PW91 3-21G eV	HF 3-21G eV
<b>LUMO</b>	-1,96271	-2,01141	1,86257	-1,74693	-1,87781	1,96761
<b>HOMO</b>	-6,43234	-6,5137	-8,54198	-6,34037	-6,49111	-8,66606
<b>A</b> Elektron ilgisi	1,96271	2,01141	-1,86257	1,74693	1,87781	-1,96761
<b>I</b> İyonlaşma potansiyeli	6,43234	6,5137	8,54198	6,34037	6,49111	8,66606
<b>ΔE</b> Enerji farkı	4,46963	4,50228	10,4046	4,59344	4,6133	10,6337
<b>χ</b> Elektronegativite	4,19752	4,26256	3,33971	4,04365	4,18446	3,34923
<b>Pi</b> Kimyasal potansiyel	-4,19752	-4,26256	-3,33971	-4,04365	-4,18446	-3,34923
<b>ω</b> Elektrofilik indeks	0,02659	0,02762	0,03918	0,02536	0,02727	0,04027
<b>IP</b> Nükleofilik indeks	-0,34474	-0,35264	-0,6385	-0,3413	-0,35472	-0,65442
<b>S</b> Moleküler yumuşaklık	331,313	328,91	142,327	322,383	320,994	139,26
<b>η</b> Moleküler sertlik	2,23481	2,25114	5,20228	2,29672	2,30665	5,31683

### 3.4. Termodinamik Özellikler

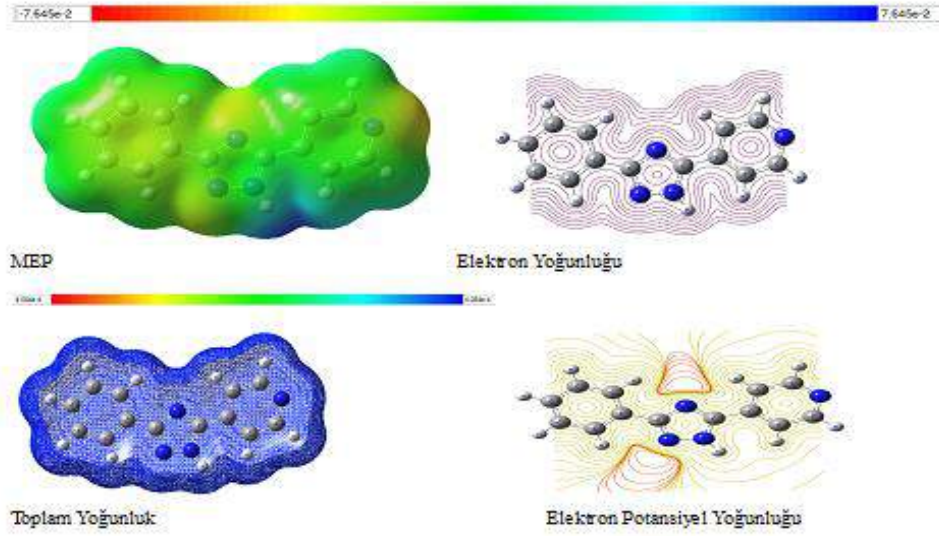
Başlıca molekülün B3LYP, B3PW91, HF 6-311G(d,p)/ 3-21G ile termodinamik parametreleri hesaplanmıştır. Bir kimyasal tepkimenin gerçekleşip gerçekleşmediği hakkında bilgi edinmemize termodinamik ısı etkileri katkı sağlar. Bu sebeple organik bileşiklerin reaksiyon mekanizmalarını incelemek için bu termodinamik verilerden faydalanılır. Reaksiyonların ısı oluşum değerlerini belirlemek için kuantum kimyasal hesaplamalar kullanılmıştır ve Dönme sabitleri (GHz), Entropi: S (cal/molK), Termal Enerji: E(Kcal/mol), Termal Kapasite: CV(Cal/Mol-Kelvin) değerleri bulunmuştur (Tablo 5).

Tablo 5. Bileşiğin B3LYP, B3PW91/6-311G(d,p)/ 3-21G temel setleri ile hesaplanmış termodinamik özellikleri

Parametreler	B3LYP/ 6-311G(d,p)	B3PW91/ 6-311G(d,p)	HF/ 6-311G(d,p)	B3LYP/ 3-21G	B3PW91/ 3-21G	HF/ 3-21G
Sıfır nokta titreşim enerjisi (Kcal/mol)	131.2880	131.8256	140.8077	132.2233	132.6497	142.6072
Toplam enerji (a.u)	720.5840	720.2975	716.0624	716.4189	716.1450	711.8797
<b>Dönme sabitleri (GHz)</b>						
<b>A</b>	1.69438	1.70207	1.72017	1.63275	1.63627	1.66610
<b>B</b>	0.20371	0.20471	0.20629	0.20490	0.20567	0.20811
<b>C</b>	0.18184	0.18273	0.18420	0.18206	0.18270	0.18500
<b>Entropi: S (cal/molK)</b>						
<b>Dönme</b>	42.096	42.096	42.096	42.096	42.096	42.096
<b>Ötelenme</b>	32.904	32.890	32.864	32.934	32.925	32.883
<b>Titreşim</b>	41.017	41.050	31.518	38.364	38.586	35.620
<b>Toplam</b>	116.018	116.036	106.478	113.394	113.607	110.599
<b>Termal Enerji: E(Kcal/mol)</b>						
<b>Dönme</b>	0.889	0.889	0.889	0.889	0.889	0.889
<b>Ötelenme</b>	0.889	0.889	0.889	0.889	0.889	0.889
<b>Titreşim</b>	137.436	137.970	145.883	138.179	138.608	147.991
<b>Toplam</b>	139.213	139.748	147.661	139.956	140.386	149.768
<b>Termal Kapasite: CV(Cal/Mol-Kelvin)</b>						
<b>Dönme</b>	2.981	2.981	2.981	2.981	2.981	2.981
<b>Ötelenme</b>	2.981	2.981	2.981	2.981	2.981	2.981
<b>Titreşim</b>	43.651	43.528	37.735	42.767	42.643	38.180
<b>Toplam</b>	49.613	49.489	43.696	48.729	48.605	44.142

### 3.5. Yüze Haritaları

B3LYP, B3PW91, HF 6-311G(d,p)/ 3-21G metodlar ve temel setler kullanılarak molekülün üç boyutlu yüze haritaları belirlenmiştir. MEP ' in üç boyutlu şekilleri Moleküler elektrostatik potansiyel haritası olarak bilinmektedir. MEP haritasının yüzeyinde moleküler yüze, boyut, yük dağılımı, elektrostatik potansiyel değerleri gösterilmiştir. Molekülde var olan elektronegatif atomların çevresi kırmızı, elektropozitif atomların çevresi mavi ve diğer atomların çevreleri ise yeşil renktedir. Molekülde elektron yoğunluğunun en yüksek olduğu bölge N26, N27 atomlarının çevresidir, elektron yoğunluğunun en düşük olduğu bölge ise N-H protonunun çevresidir. Ayrıca, toplam yoğunluk ve yüze haritaları belirlenerek Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Bileşiğin B3PW91/6-311G(d,p) seviyesine göre yüzey haritaları

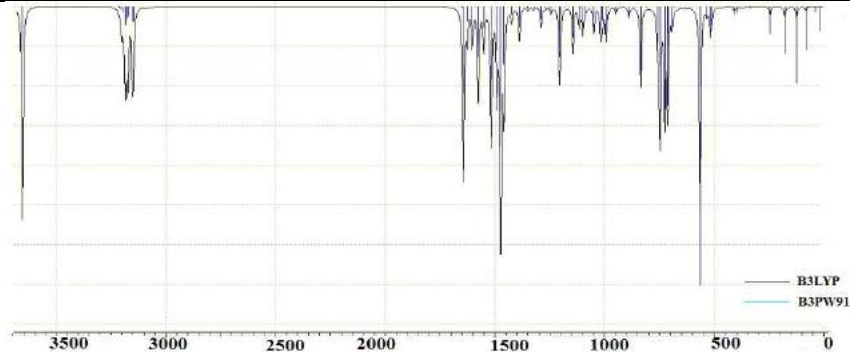
### 3.6. IR Analizi

Molekülün Infrared titreşim frekans değerleri B3LYP, B3PW91, HF 6-311G(d,p) temel setleri ile hesaplanmıştır ve elde edilen veriler uygun skala faktörleri ile çarpılarak skalalı değerlere ulaşılmıştır. Deneysel N-H gerilme titreşimi 3180  $\text{cm}^{-1}$ 'de, B3LYP /6-311G(d,p) ile 3541  $\text{cm}^{-1}$ 'de, B3PW91/6-311G(d,p) ile 3557  $\text{cm}^{-1}$ 'de, HF/6-311G(d,p) ile 3553  $\text{cm}^{-1}$ 'de; deneysel C=N gerilme titreşimi 1615-1595  $\text{cm}^{-1}$ 'de, B3LYP/6-311G(d,p) ile 1600-1592  $\text{cm}^{-1}$ 'de, B3PW91/6-311G(d,p) ile 1614-1607  $\text{cm}^{-1}$ 'de, HF/6-311G(d,p) ile 1644-1634  $\text{cm}^{-1}$ 'de; benzen halkasındaki aromatik deneysel C-H gerilme titreşimleri 755-695  $\text{cm}^{-1}$ 'de, B3LYP/6-311G(d,p) ile 735-688  $\text{cm}^{-1}$ 'de, B3PW91/6-311G(d,p) ile 736-689  $\text{cm}^{-1}$ 'de, HF/6-311G(d,p) ile 755-695  $\text{cm}^{-1}$ 'de gözlenmiştir ve Tablo 6' da gösterilmiştir. Ayrıca teorik olarak infrared spektrumları çizilmiştir ve Şekil 5'de gösterilmiştir.



Tablo 6. Molekülün seçilmiş titreşim frekans değerleri ve türleri

Titreşim türleri	skalalı B3LYP	skalalı B3PW91	skalalı HF
$\tau$ CCNC(40)	18	18	21
$\tau$ CCCN(15), $\tau$ CNNC(15)	38	38	32
$\delta$ CCC(17), $\delta$ CCN(62)	69	67	70
$\tau$ CCNC(24), $\tau$ CCCN(19), $\tau$ CNNC(26)	79	79	75
$\tau$ CCCC(13), $\tau$ CNNC(29)	122	121	125
$\delta$ CCC(33), $\delta$ CCN(34)	173	170	177
$\tau$ CCCC(18), $\tau$ CNCC(13)	239	239	243
$\nu$ CC(33), $\delta$ CNN(10)	245	245	246
$\tau$ CCCC(19), $\tau$ CNNC(29)	325	326	339
$\delta$ CCN(30)	662	659	663
$\nu$ CC(10), $\delta$ CNC(33), $\delta$ CCC(16)	671	669	670
$\tau$ HCCC(16), $\tau$ CCCC(29)	688	689	695
$\tau$ HNNC(11), $\tau$ HCCC(11), $\tau$ CNNC(17)	691	694	700
$\nu$ CC(17), $\delta$ CCC(11), $\delta$ CNC(16)	704	703	710
$\tau$ HCCC(16), $\tau$ NCNN(19), $\tau$ CCCC(10)	725	725	740
$\tau$ HCCN(24), $\tau$ CCNC(12)	735	736	755
$\nu$ NC(13), $\delta$ HCC(17), $\delta$ HCN(27)	1471	1474	1506
$\nu$ CC(22), $\delta$ HCC(22)	1502	1512	1549
$\nu$ NC(17), $\nu$ CC(15), $\delta$ HNN(10)	1526	1541	1577
$\nu$ NC(21), $\nu$ CC(24), $\delta$ CCC(10)	1553	1569	1597
$\nu$ CC(23), $\delta$ CCC(10)	1576	1589	1615
$\nu$ CC(14), $\delta$ CCC(14), NC(17)	1592	1607	1634
$\nu$ CC(46), $\delta$ HCC(17), $\nu$ NC(21)	1600	1614	1644
$\nu$ CH(56)	3051	3061	3006
$\nu$ CH(53)	3056	3066	3012
$\nu$ CH(43)	3064	3076	3018
$\nu$ CH(80)	3074	3086	3018
$\nu$ CH(43)	3077	3089	3030
$\nu$ CH(51)	3086	3097	3036
$\nu$ CH(62)	3098	3108	3047
$\nu$ CH(17)	3103	3112	3052
$\nu$ CH(32)	3113	3121	3067
$\nu$ NH(100)	3541	3557	3553



Şekil 5. Bileşiğin B3PW91/ B3LYP 6-311G(d,p) seviyesine göre IR Spektrumları

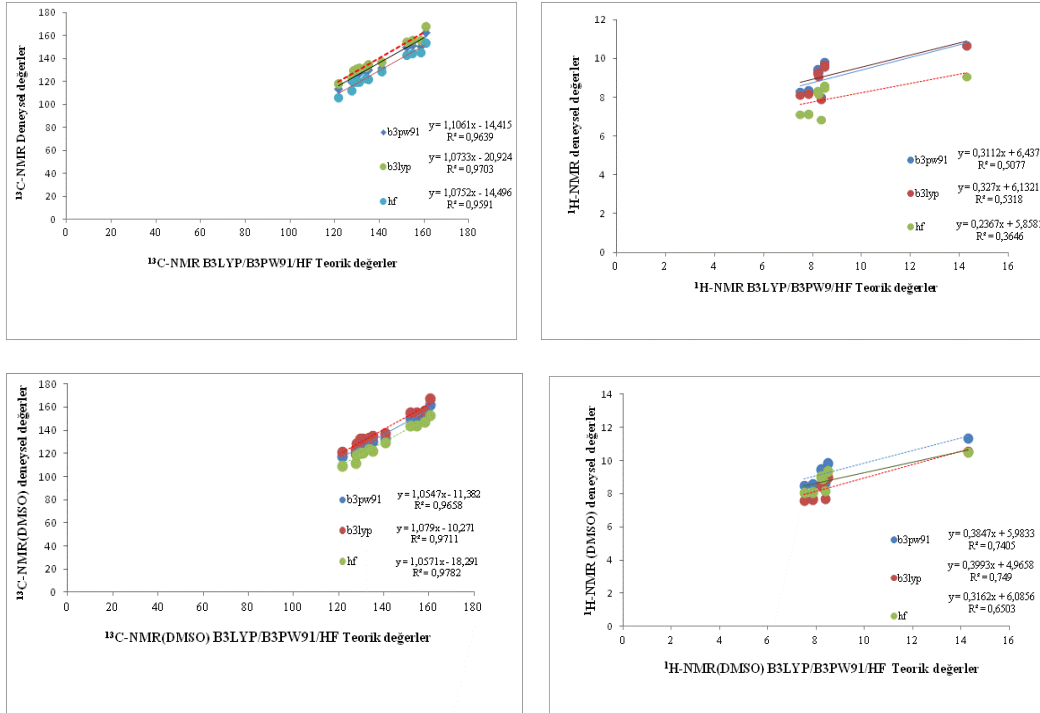
### 3.7. NMR Spektral Analizi

3-Fenil-5-(4-ridil)-1,2,4-triazol bileşiğinin B3LYP, B3PW91, HF 6-311G(d,p)/ 3-21G ile  $^{13}\text{C}$  / $^1\text{H}$ -NMR teorik kimyasal kayma değerleri gaz ortamında ve çözücülü (DMSO) ortamda hesaplanmıştır ve literatürden alınan deneysel değerler ile karşılaştırılarak Tablo 7'de gösterilmiştir. Moleküldeki benzen halkasının protonlarının (H19-H23) deneysel kimyasal kayma değerleri 7.50-8.20 ppm aralığında, piridin halkasının protonları (H15-H18) 8.26-8.48 ppm aralığındadır ve N-H protonunun (H14) kimyasal kayma değeri 14.30 ppm'dir. B3LYP, B3PW91, HF 6-311G(d,p) temel seti ile elde edilen teorik  $^1\text{H}$  kimyasal kayma değerleri benzen halkasının protonları (H19-H23) için gaz ortamında sırası ile 8.11-9.30, 8.29-9.49, 7.13-8.35 ppm aralığında, çözücülü (DMSO) ortamda 7.59-8.58, 8.49-9.49, 8.07- 9.08 ppm aralığındadır, piridin halkasının protonları (H15-H18) gaz ortamında sırası ile 7.89-9.72, 8.06-9.87, 6.88-8.62 ppm aralığında iken, çözücülü (DMSO) ortamda 7.71-8.95, 8.62-9.87, 8.16-9.36 ppm aralığındadır, N-H protonunun (H14) teorik kimyasal kayma değeri gaz ortamında 10.65, 10.73, 9.78 ppm iken, çözücülü (DMSO) ortamda 10.54, 11.35, 10.47 ppm'dir.  $^{13}\text{C}$ -NMR deneysel analizinde benzen halkasının karbonları (C8-C13) 127.98-135.00 ppm'de, Piridin halkasının karbonları (C3- C7) 121.60-154-70 ppm' de, Triazol halkasının karbonları (C1, C2) 160.71, 158.20 ppm'de gözlemlenmiştir. B3LYP, B3PW91, HF 6-311G(d,p) temel seti ile gaz ortamında hesaplanan benzen halkasının karbonları (C8-C13) için  $^{13}\text{C}$ -NMR verileri ise sırası ile; 129.75-135.72, 125.85-130.30, 119.87-122.40 ppm'de, çözücülü ortamda ise 128.97- 135.19, 125.09-130.25, 119.39-123.60 ppm'dir. B3LYP, B3PW91, HF 6-311G(d,p) temel seti ile gaz ortamında hesaplanan piridin halkasının karbonları (C3-C7) 118.15-156.15, 114.13-151.97, 106.55-144.85 ppm'dir, çözücülü (DMSO) ortamda ise 121.43-155.15, 117.39-151.35, 109.52-143.95 ppm'dir. B3LYP, B3PW91, HF 6-311G(d,p) temel seti ile gaz ortamında hesaplanan Triazol halkasının karbonları (C1, C2) 168.23, 156.15; 162.77, 150.83; 153.76, 145.77 ppm'dir, çözücülü (DMSO) ortamda ise 167.28, 157.37; 161.77, 152.00; 153.12, 147.13 ppm'dir. Deneysel

değerler ile teorik değerleri mukayese etmek için regresyon analizleri yapılarak  $R^2$  (ortalama küresel hata) değerleri bulunarak grafikler oluşturulmuştur ve Şekil 6' da gösterilmiştir.

**Tablo 7.** Bileşiğin deneysel ve B3LYP, B3PW91/6-311G(d,p) temel setleri ile hesaplanmış  $^1H/^{13}C$ -NMR verileri

No	Deney.	B3LYP Vakum	B3LYP Fark Vakum	B3LYP DMSO	Fark B3LYP DMSO	B3PW91 vakum	Fark B3PW91 Vakum	B3PW91 DMSO	Fark B3PW91 DMSO	HF Vakum	Fark HF Vakum	HF DMSO	Fark HF DMSO
C1	160.71	168.23	-7.52	167.28	-6.57	162.77	-2.06	161.77	-1.06	153.76	6.95	153.12	7.59
C2	158.20	156.15	2.05	157.37	0.83	150.83	7.37	152.00	6.2	145.77	12.43	147.13	11.07
C3	140.90	136.98	3.92	137.47	3.43	132.06	8.84	132.53	8.37	129.02	11.88	129.39	11.51
C4	127.52	123.71	3.81	123.87	3.65	119.78	7.74	119.93	7.59	112.07	15.45	111.93	15.59
C5	154.70	156.15	-1.45	155.5	-0.8	151.97	2.73	151.35	3.35	144.85	9.85	144.36	10.34
C6	151.92	154.53	-2.61	155.15	-3.23	150.33	1.59	151.00	0.92	143.14	8.78	143.95	7.97
C7	121.60	118.15	3.45	121.43	0.17	114.13	7.47	117.39	4.21	106.55	15.05	109.52	12.08
C8	135.00	135.22	-0.22	135.19	-0.19	130.30	4.7	130.24	4.76	122.40	12.60	122.27	12.73
C9	129.40	130.76	-1.36	129.88	-0.48	126.80	2.6	125.94	3.46	121.44	7.96	120.56	8.84
C10	130.68	131.69	-1.01	132.53	-1.85	127.72	2.96	128.61	2.07	119.97	10.71	120.96	9.72
C11	133.60	132.96	0.64	133.65	-0.05	128.99	4.61	129.72	3.88	122.94	10.66	123.6	10
C12	129.77	131.57	-1.8	132.45	-2.68	127.60	2.17	128.53	1.24	119.87	9.90	120.87	8.9
C13	127.98	129.75	-1.77	128.97	-0.99	125.85	2.13	125.09	2.89	120.33	7.65	119.39	8.59
H14	14.30	10.65	3.65	10.54	3.76	10.73	3.57	11.35	2.95	9.08	5.22	10.47	3.83
H15	8.26	9.09	-0.83	8.4	-0.14	9.29	-1.03	9.31	-1.05	8.17	0.09	8.89	-0.63
H16	8.48	9.72	-1.24	9	-0.52	9.87	-1.39	9.87	-1.39	8.62	-0.14	9.36	-0.88
H17	8.48	9.59	-1.11	8.95	-0.47	9.74	-1.26	9.82	-1.34	8.49	-0.01	9.32	-0.84
H18	8.36	7.89	0.47	7.71	0.65	8.06	0.3	8.62	-0.26	6.88	1.48	8.16	0.2
H19	8.20	9.30	-1.1	8.58	-0.38	9.49	-1.29	9.49	-1.29	8.35	-0.15	9.08	-0.88
H20	7.85	8.22	-0.37	7.69	0.16	8.40	-0.55	8.59	-0.74	7.17	0.68	8.11	-0.26
H21	7.50	8.11	-0.61	7.59	-0.09	8.29	-0.79	8.49	-0.99	7.14	0.36	8.08	-0.58
H22	7.85	8.16	-0.31	7.63	0.22	8.34	-0.49	8.54	-0.69	7.13	0.72	8.07	-0.22
H23	8.20	9.20	-1	8.5	-0.3	9.39	-1.19	9.41	-1.21	8.26	-0.06	8.98	-0.78



**Şekil 6.** Bileşiğin gaz ortamında ve çözücülü (DMSO) ortamda regresyon analiz grafikleri ve  $R^2$  değerleri

#### 4. Sonuç

Çalışmada, 3-Fenil-5-(4-pridil)-1,2,4-triazol bileşiğinin B3LYP, B3PW91, HF 6-311G(d,p)/ 3-21G setleri ile spektroskopik, elektronik, termodinamik ve geometrik özellikleri teorik olarak incelenmiştir. Optimize yapıdan yola çıkarak kapsamlı ve karşılaştırmalı bir şekilde yapılan hesaplamalar sonucunda, molekülün  $^{13}C$ -NMR verileri için, HF 6-311G (d,p) temel seti ile DMSO çözücülü ortamda  $R^2$  değerleri 0.9782' dir ve diğer setlerle kıyaslandığında 1'e en yakın değer budur. Bu da gösteriyorki, HF/6-311G (d,p) temel seti ile  $^{13}C$ -NMR (DMSO) sonuçları deneysel daha yakındır.  $^1H$ -NMR kimyasal kayma sonuçlarında ise grafiklerden anlaşıldığı üzere bir sapma gözlenmiştir. Bunun nedeni yapıda bulunan N-H asidik protonudur. IR titreşim frekansları yine iki farklı metot ve yöntemle teorik olarak hesaplanmıştır ve değerler uygun katsayılar ile çarpılarak deneysel değerlerle karşılaştırılmıştır ve kapsamlı bir set olan B3LYP/6-311G(d,p) ile hesaplanan değerlerin deneysel ile daha uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır. Teorik IR verilerinde negatif değerlere rastlanmamıştır bu da bize molekülün kararlı olduğunu göstermiştir. Molekülün HOMO-LUMO

orbitallerinin enerji değerleri arasında en düşük  $\Delta E_g$  değeri B3LYP/ 6-311G((d,p) ile elde edilen 4.4695 eV'dur ve bu sonuç da yapının kararlı olduğunu bize söyler. Ayrıca, HOMO-LUMO orbital enerjilerini kullanarak elektron ilgisi, iyonlaşma potansiyeli, nükleofilik özellikler, moleküler sertlik-yumuşaklık hesaplanmıştır. Molekülün termodinamik değerleri bulunmuştur, geometrik parametreleri hesaplanmıştır ve bağ uzunlukları literatürdeki değerler ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda 6-311G(d,p) setinin DFT (B3LYP ve B3PW91) fonksiyonları ile elde edilen verilerin kendi aralarında ve deneysel veriler ile uyumu görülmüştür. Ayrıca, moleküler yüzey haritaları oluşturulmuş ve MEP haritasından molekülün nükleofilik ve elektrofilik bölgeleri tespit edilmiştir.

## Kaynakça

- Bahçeci, Ş., Yüksek, H., Serdar, M. (2005). Reactions of amidines with some carboxylic acid hydrazides. *Indian Journal of Chemistry*, Volum 44B, pp 568-572.
- Barton, D., Ollis, W.D. (1979). *Comprehensive Organic Chemistry*, vol. 2. (Oxford:Pergamon).
- Becke, A.D. (1988). Density-functional exchange-energy approximation with correct asymptotic behavior. *Physical review A: General physics*, 38(6), 3098-3100.
- Becke, A.D. (1993). Density-functional thermochemistry III. The role of exact Exchange. *The Journal of Chemical Physics*, 98, 372-377.
- Brown, E.J. & Polya, J.B. (1962). *J.Chem. Soc.*, 5149.
- Buzdar, A.U. (2002). Anastrozole (Arimidex™) in clinical practice versus the old 'gold standard'. *tamoxifen Expert Rev. anticancer Ther.*, 2 pp. 623-629.
- Casaszar, J., Morvay, J., Herczeg, O. (1985). *Acta Phys.Chem.*, 31, 717-722.
- Cohn, M.A., Morris, D.D., Juan, D. (1992). Effects of estazolam and flurazepam on cardiopulmonary function in patients with chronic obstructive pulmonary disease *Drug Saf*, 7 pp, 152-158
- Cozzi, P.G. (2004). *Chem. Soc. Rev.* 33 (7), 410-421.
- Dennington, R., Keith, T., Millam, J. (2009). *GaussView. Version 5.* Semichem Inc. Shawnee Mission KS.
- Fletcher, R.A., Gilley, A., Sankhla, N., Davis, T.D. (2010). Triazoles as plant growth regulators and stress protectants, *Hortic. Rev.*, 24 pp, 55-138.
- Frisch, M.J., Trucks, G.W., Schlegel, H.B., Scuseria, G.E., Robb, M.A., Mennucci, B., Petersson, G.A., Nakatsuji, H., Caricato, M., Li, X. et al. (2009). *Gaussian 09. Revision C.01.* Gaussian. Inc. Wallingford. CT.
- Graci, J.D., Cameron, C.E. (2002). Quasispecies. error catastrophe and the antiviral activity of ribavirin *Virology*, 298, pp. 175-180.
- Gupta, K., Sutar, A.K., (2008). *Coord.Chem. Rev.*, 252 (12), 1420-1450.
- Himeda, Y., Onozawa-Komatsuzaki, N., Sugihara, H., Arakawa, H., Kasuga, K. (2003). *J. Mol Catal A Chem.*, 195 (1), 95-100.
- Hong, Z., Cameron C.E. (2002). Pleiotropic mechanisms of ribavirin antiviral activities *Progress in Drug Research*. Springer, pp. 41-69.
- Ingold, C.K.(1969). *Structure and Mechanism in Organic Chemistry*, 2nd Edition.
- Jamróz, M.H. (2004). *Vibrational Energy Distribution Analysis. VEDA 4 program*, Warsaw.
- Jia, Y., Li, J. (2014). *Chem. Rev.*, 115 (3), 1597-1621.
- Kanamitsu, S.-i., Ito, K., Green, C.E., Tyson, C.A., Shimada, N., Sugiyama, Y. (2000). Prediction of in vivo interaction between triazolam and erythromycin based on in vitro studies using human liver microsomes and recombinant human CYP3A4 *Pharm. Res.*, 17, pp. 419-426.
- Karunakaran, V., Balachandran, V. (2012). *Spectrochim. Acta A*, 98, 229-239.
- Krzysztof, S., Tomasz, T., Jolanta, R., Kazimierz, P., Martyna, K. (2008). Synthesis, determination of the lipophilicity, anticancer and antimicrobial properties of some fused 1,2,4-triazole derivatives. *Eur. J. Med. Chem.*, 43, 404-419.
- Kotan, G., Yüksek, H. (2016). Theoretical and Spectroscopic Studies of (*E*)-3-Benzyl-4-((4-Isopropylbenzylidene)-Amino)-1-(Morpholinomethyl)-1*H*-1,2,4-triazol-5(4*H*)-one Molecule, *JOTCSA*, 3(3), 381-392.
- Layer, R.W. (1963). *Chem. Rev.* 63, 489-510.
- Lee, C., Yang, W., Parr, R.G., (1988). Development of the Colle-Salvetti correlation-energy formula into a functional of the electron density. *Physical Review*, 37, 785-789.
- Lobo, B.L., Greene, W.L. (1997). Zolpidem: distinct from triazolam *Ann. Pharmacother*, 31 pp. 625-632
- Mari, S.K., Bantwal, S.H., Nalilu, S.K. (2008). *Eur. J. Med. Chem.* 43, 309-314.S.
- Merrick, J.P., Moran, D., Radom, L. (2007). An Evaluation of Harmonic Vibrational Frequency Scale Factors. *Journal of Physical Chemistry*, 111(45), 11683-11700.
- Patel, R.V., Park. S.W. (2014). *Eur. J. Med. Chem.* 71, 24-30.
- Perdew, J. P. (1986a). Density-functional approximation for the correlation energy of the inhomogeneous electron gas. *Physical Review B*, 33, 8822. (b) Perdew, J.P. (1986b). *Physical Review B*, 34, 7406.
- Perdew, J.P. and Wang, Y. (1992). Accurate and simple analytic representation of the electron-gas correlation energy. *Physical Review B*, 45, 13244.
- Pokharia, M., Yadav, S.K., Mishra, H., Pandey, N., Tilak, R., Pokharia, S. (2017). *J. Mol.Struct.*, 1144, 324-337.
- Postovskii, I.Y. & Vereshchagina N.N. (1954). *Z. Obshch Khim*, 229, 2139.
- Prakash, A., Adhikari, D. (2011). Application of Schiff bases and their metal complexes-A review. *Int. J. Chem. Tech. Res.* 3 (4), 1891-1896.
- Rockstroh, J.K., Mudar, M., Lichterfeld, M., Nischalke, H.D., Klausen, G., Götz, J., Dupke, S., Notheis, G., Stein, L., Mauss, S. (2002). Pilot study of interferon alpha high-dose induction therapy in combination with ribavirin for chronic hepatitis C in HIV-co-infected patients *AIDS*, 16, pp. 2083-2085.

- Sheikhshoaie, I., Sharif, M.A. (2006). Acta Crystallogr. E 62, 3563-3565.
- Suvitha, A., Periandy, S., Boomadevi, S., Govindarajan, M. (2014). Spectrochim. Acta A, 117, 216–224.
- Tozkoparan, B., Küpeli, E., Yesilada, E., Ertan, M. (2007). Preparation of 5-aryl-3-alkylthio-1,2,4-triazoles and corresponding sulfones with antiinflammatory analgesic activity. Bioorg Med Chem., 15, 1808-1814.
- Wellington, K., Faulds, D.M. (2002). Anastrozole Drugs., 62 pp, 2483-2490.
- Wolinski, K., Hilton, J.F., Pulay, P.J. (1990). Efficient implementation of the gauge-independent atomic orbital method for NMR chemical shift calculations. Journal of the American Chemical Society, 112, 512.
- Vogel, G.W., Morris, D. (1992). The effects of estazolam on sleep performance and memory: a long-term sleep laboratory study of elderly insomniacs. J. Clin. Pharmacol, 32 pp, 647-651.
- Yüksek, H., Gursoy-Kol, Ö., Kemer, G., Ocak, Z., Anıl, B. (2011). Synthesis and *in-vitro* antioxidant evaluation of some novel 4-(4-substituted)benzylidenamino-4,5-dihydro-1*H*-1,2,4-triazol-5-ones. Indian J. Heterocy. Chemistry, 20, 325-330.
- Yüksek, H., Kotan, G., Medetalibeyoğlu, H., Gürbüz, A., Alkan M. (2017). B3LYP ve HF Temel Setleri Kullanılarak Bazı 3-Alkil-4-(2-asetoksi-3-metoksibenzilidenamino)-4,5-dihidro-1*H*-1.2.4-triazol-5-on Bileşiklerinin Deneysel ve Teorik Özelliklerinin İncelenmesi. CBÜ Fen Bil. Dergi, Cilt 13, Sayı 1, 193-204.



## Bazı Yerel Makarnalık Buğday Çeşitlerinde Küllemeye (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*) Karşı Dayanıklılığın Belirlenmesi

Özlem Ateş Sönmezoğlu<sup>1\*</sup>, Ahmet Yıldırım<sup>2</sup>, Ümmühan Türk<sup>3</sup>, Yusuf Yanar<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, Karaman, (ORCID: 0000-0002-3423-7095)

<sup>2</sup>Uluslararası Saraybosna Üniversitesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina

<sup>3</sup>Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Tokat

<sup>4</sup>Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Tokat

(İlk Geliş Tarihi 14 Kasım 2019 ve Kabul Tarihi 13 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.646712)

**ATIF/REFERENCE:** Sönmezoğlu, Ö. A., Yıldırım, A., Türk, Ü. & Yanar, Y. (2019). Bazı Yerel Makarnalık Buğday Çeşitlerinde Küllemeye (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*) Karşı Dayanıklılığın Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 944-950.

### Öz

Buğdayın verim ve kalitesini olumsuz yönde etkileyen en önemli hastalıklardan birisi *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*'nin neden olduğu külleme hastalığıdır. Külleme, bahar döneminde nemin en yüksek olduğu bölgelerde sık görülen, ekonomik olarak ilaçlı mücadeleli olmayan bir hastalıktır.

Makarnalık buğdayın önemli gen kaynaklarından olan bazı yerel makarnalık buğday çeşitlerinin küllemeye karşı dayanıklılıklarının belirlenmesi amacıyla yürütülen bu çalışmada, Türkiye'nin farklı bölgelerden toplanmış olan 49 adet yerel makarnalık buğday çeşidi ve kontrol amacıyla Çeşit 1252, Gediz 75, Bezostaja, Tahirova-2000 ve Sofu çeşitleri kullanılmıştır. Farklı lokasyonlardan toplanan ve Türkiye'deki muhtemel ırkları temsil eden külleme sporları ile inoküle edilmiş yerel çeşitlerin hastalığa karşı gösterdikleri reaksiyon tipleri belirlenmiştir. Sonuç olarak küllemeye karşı bir yerel çeşidin (TR 31729) tek gen dayanıklılığına sahip olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Makarnalık Buğday, *Triticum durum*, Yerel Çeşit, Külleme, *Blumeria graminis*, Dayanıklılık.

## Identification of Powdery Mildew (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*) Resistance in Some Durum Wheat Landraces

### Abstract

One of the most important diseases of wheat affecting yield and quality negatively is powdery mildew. It is seen very often in spring in regions with high humidity and using pesticides to control the disease is not economical.

In this study, 49 durum wheat land races collected from different regions of Turkey were used. In addition, five registered wheat cultivars (Çeşit-1252, Gediz-75, Bezostaja-1, Tahirova-2000 and Sofu) were used as controls. Reaction types of the land races infected with a collection of powdery mildew spores obtained from different locations and representing possible races of the pathogen were determined. As a result, only one land race (TR 31729), was found to have race specific resistance.

**Keywords:** Durum Wheat, *Triticum durum*, Land Race, Powdery Mildew, *Erysiphe graminis*, Resistance.

\* Sorumlu Yazar: Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, Karaman, Türkiye, ORCID: 0000-0002-3423-7095, [ozlemsonmezoglu@kmu.edu.tr](mailto:ozlemsonmezoglu@kmu.edu.tr)



## 1. Giriş

Nüfus artışına bağlı olarak, insan beslenmesi yönünden gerekli bitkisel ve hayvansal gıdalara olan gereksinim hızlı bir şekilde artmaktadır. Bu bağlamda tahıllar özellikle de buğday önemli bir yere sahiptir. Ekiliş alanı ve üretim miktarı bakımından tahıllar içerisinde buğday (*Triticum aestivum* L., *Triticum durum* L.) birinci sırada yer almaktadır (Geçit ve ark. 2009).

Buğday dünyada yaklaşık 225 milyon hektar ekim alanına ve 736 milyon ton üretime sahiptir (USDA 2017). Dünyada buğday üretimine ayrılan alanın yaklaşık %8-10'unda makarnalık buğday yetiştirilmektedir. Ülkemizde buğday yetiştirilen 7,9 milyon hektarlık alanda yaklaşık 19,5 milyon ton üretim yapılmaktadır (USDA 2017). Dünya makarnalık buğday üretiminde (40.7 milyon ton) Türkiye 3.6 milyon tonluk üretim ile Kanada (7.8 milyon ton) ve İtalya (5.0 milyon ton)'dan sonra Dünya'da makarnalık buğday üreten ülkeler arasında 3. ülke olmuştur (Pehlivan ve Ünver, 2017). Makarnalık buğday (*T. durum*), dünya pazarlarında yüksek fiyatla alıcı bulabilen bir üründür. Bunun en önemli nedeni, makarnalık buğdayın belli iklim ve toprak özellikleri gerektirmesi ve hammadde olarak kullanılacak ürünün sanayiciler tarafından hastalık ve zararlılardan etkilenmemiş olarak istenmesidir. Bu durum, makarnalık buğdayın geniş sınırlarda yetiştirilmesine engel olmaktadır. Buğday üretiminde son yıllarda artış görülmesine rağmen nüfus artışı ve buğdaya dayalı beslenme alışkanlıkları, bu bitkinin veriminin artırılmasını daha da zorunlu hale getirmektedir. Bu da ancak bölgelere göre en uygun çeşitlerin bulunması ve modern teknolojiler kullanılarak yetiştirme tekniklerinin uygulanması gibi ürün artırıcı tedbirlerin yanı sıra, hastalık zararlı ve yabancı otlara karşı etkili ve ekonomik savaşım yöntemlerinin uygulanmasıyla mümkün olabilmektedir.

Ülkemizde ve dünyada buğday üretimini sınırlayan biyotik faktörlerin başında külleme, septoria yaprak lekesi ve pas hastalıkları gelmektedir (Cowger 2018, Turgay 2016, Schwessinger 2017). Bunlardan Külleme hastalığı (*Blumeria graminis* (DC) E.O. Speer f. sp. *tritici* Em. Marchal (syn. *Erysiphe graminis* DC. f. sp. *tritici* Em. Marchal)) ekonomik olarak buğdayın en önemli hastalıklarından biri olup, %34 ve üzerinde ürün kayıplarına neden olabilmektedir (Li ve ark. 2011, Alam ve ark. 2013, Cao ve ark. 2013, Shen ve ark. 2015). Külleme (*E. graminis* f. sp. *tritici*) ılıman ve yağışlı alanlarda sık görülen bir tahıl hastalığıdır. Fungus, bitki yaprakları üzerinde nokta şeklinde beyaz gri renkte püstüller halinde görülmektedir. Uygun koşullarda püstüller birleşmekte, yaprağın tamamını kaplayabilmekte, hatta sap ve başağa kadar ulaşabilmektedir (Kösem, 2004). Hastalık şiddetine ve bitkinin enfeksiyona maruz kaldığı gelişme dönemine bağlı olarak yapraklarda fotosentez oranını, asimilasyon indeksini düşürmekte ve sonuç olarak tane verim ve kalitesinin düşmesine neden olmaktadır (Samobor ve ark. 2006). Hastalıkla mücadelede kültürel önlemler yanında kimyasal mücadelede yaygın olarak kullanılmaktadır. Kimyasal mücadelede kullanılan fungusitler tohum ve yeşil aksam ilaçlaması şeklinde uygulanmaktadır. Ancak tohum uygulaması çoğunlukla sezon boyunca hastalığı kontrol etmede yeterli olamamaktadır. Diğer taraftan yeşil aksam uygulamaları ise ekonomik olmadığı için tercih edilmemektedir. Yine kimyasal mücadelenin çevre ve insan sağlığına olan olumsuz etkileri ve buna karşı toplumsal duyarlılığın artması bu patojenle mücadelede dayanıklı çeşit kullanımını ön plana çıkarmıştır (Yahiaoui ve ark. 2004, Xiao ve ark. 2013). Patojen ırklarına spesifik majör gen dayanıklılığı ve bu bağlamda bir çok dayanıklılık genleri (*pm* genleri) (örneğin *pm1a- pm47* gibi) belirlenmiş ve ıslah programlarında kullanılmıştır (Yahiaoui ve ark. 2004, Xiao ve ark. 2013). Ancak patojen yeni ırklar geliştirerek bu majör gen dayanıklılıklarını kırarak şiddetli enfeksiyonlara neden olabilmekte ve ürün kayıplarını artırmaktadır (McDonald ve Linde 2002). Bu nedenle yeni dayanıklılık kaynaklarının veya yeni dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesi etmenle mücadelede büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışma bazı yerel makarnalık buğday çeşitlerinden külleme hastalığına dayanıklı olanların belirlenmesi amacı ile yapılmıştır. Böylece bu hastalığa dayanıklılık konusunda yapılacak ıslah çalışmalarına ön hazırlık yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Bitki Materyali

Araştırmada, bitki materyali olarak Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü (ETA) tarafından farklı bölgelerden toplanmış olan 49 adet yerel makarnalık buğday çeşidi ve kontrol amacıyla Çeşit1252 (hassas), Gediz75 (hassas), Bezostaja-1 (hassas), Tahirova-2000 (dayanıklı) ve Sofu (hassas) buğday çeşitleri kullanılmıştır. Yerel makarnalık buğday çeşitlerinin Türkiye'de toplandıkları iller ve bilinen yerel isimleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Araştırmada kullanılan makarnalık buğday çeşitleri ve toplandığı iller

Sıra No	Kayıt No	Toplandığı İl	Sıra No	Kayıt No	Toplandığı İl
1	TR1926	İzmir	29	TR 52841	Denizli
2	TR 3619	Balıkesir	30	TR 55109	Uşak
3	TR 3626	Balıkesir	31	TR 55120	Kütahya
4	TR 3670	Denizli	32	TR 55133	Kütahya
5	TR 14862	--	33	TR 55173	Kütahya
6	TR 31634	Mardin	34	TR 56108	Türkiye
7	TR 31729	Şanlıurfa	35	TR 56132	Türkiye
8	TR 31738	Siirt	36	TR 57129	Antalya
9	TR 31760	Gaziantep	37	Ağ buğdayı	--
10	TR 33437	Kırklareli	38	Beyaziye	--
11	TR 37094	Çorum	39	Bintepe	--
12	TR 37405	Çorum	40	Boğacak	--
13	TR 45305	Yozgat	41	Çalıbasan	--
14	TR 46555	Muğla	42	Hacıhalil	--
15	TR 46847	Hakkari	43	Havrani	--
16	TR 47931	Şanlıurfa	44	İskenderiye	--
17	TR 47937	Adıyaman	45	Karakılçık	--
18	TR 47939	Adıyaman	46	Menceki	--
19	TR 48339	Manisa	47	Sorgül	--
20	TR 48343	Muğla	48	Üveyik	--
21	TR 48346	Aydın	49	Yerli sarı	--
22	TR 48903	Adıyaman	<b>Kontrol Çeşitler</b>		
23	TR 50456	Adıyaman	1	Çeşit1252	--
24	TR 50469	Adıyaman	2	Gediz75	--
25	TR 50475	Adıyaman	3	Sofu	--
26	TR 52708	Balıkesir	4	Bezostaja-1	--
27	TR 52719	Balıkesir	5	Tahirova-2000	--
28	TR 52835	Burdur			

## 2.2. İnokulum Hazırlığı

Denemede kullanılan bitki materyaline küllleme hastalığını bulaştırmak amacıyla İzmir, Adapazarı, Samsun ve Tokat yörelerinden toplanan küllleme sporlarının bir karışımı inokulum kaynağı olarak kullanılmıştır. Farklı bölgelerde buğday tarlalarında doğal olarak hastalığın oluşumuna neden olan bu spor karışımının, patojenin Türkiye'deki muhtemel ırklarını temsil ettiği kabul edilmiştir.

### 2.2.1. Hastalık Bulaştırma ve Olgun Bitki Dayanıklılığının Gözlenmesi

Hastalık denemesi 55x35x7 cm ebatlarındaki 45'lik çoklu viyollerde yapılmıştır. Her bir çoklu viyole kontrol bitkileri olarak Çeşit1252, Gediz75, Bezostaja-1, Tahirova-2000 ve Sofu çeşitleri yerleştirilmiştir. Saksılar 3:2:1 oranında tarla toprağı, yanmış koyun gübresi ve kalın kum içeren bir karışımla doldurulmuş ve hastalık değerlendirmesi için her bir genotipten 10-20 adet tohum ekilmiştir. Çimlenen tohumlar iki yapraklı döneme ulaşıncaya kadar, mevsime bağlı kalmaksızın hızlı bir şekilde büyütülerek hastalık bulaştırabilmek için, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla bitkileri Bölümü tam otomatik kontrollü bitki yetiştirme serasında yetiştirilmiştir. Daha sonra fideler inokulasyon için 10 °C sıcaklık ve % 99 neme sahip bir büyüme odasına alınmıştır. İnokulasyon ve inkübasyon işlemi çiğlendirme makinesinde ve bitki büyüme odasında yapılmıştır.

İnokulasyon için toplanan sporlar saf su içinde karıştırılarak spor süspansiyonu oluşturulmuş ( $1 \times 10^6$ ) ve çiğlendirme odasına bir gün önceden yerleştirilen bitkilerin üzerine püskürtülmüştür. Püskürtme işleminde tüm bitkilerin sporla bulaşmasına dikkat edilmiştir. Tam kontrollü otomatik bitki büyüme odası içine alınan bitkilere ise su püskürtüldükten sonra sporlar, ya enfekte olmuş bitkiler silkelenerek ya da toplanan sporlar kuru olarak püskürtülerek ikişer hafta aralıklarla sürekli bir bulaştırma yapılmıştır (Yang ve ark. 2017).

İnokulasyondan 7, 14 ve 21 gün sonra hastalık okuması yapılmış ve reaksiyon tipleri Leath ve Heun'un (1990) skalasına göre 0-9 arasında değişen değerlerle belirlenmiştir. Bu skalaya göre 0= hiçbir enfeksiyon işaretinin bulunmadığı bağışıklılık, 1-3= dayanıklı (1= nekrozis olmadan küçük lekeler, 2= nekrozis, 3= misellerin görülmeye başladığı ve klorozisin başladığı evre), 4-6= klorotik alanların azalmasına karşılık misel ve konidya üretimini azdan orta dereceye kadar arttığı intermediyer reaksiyon ve 7-9= misel ve konidyalardan miktar ve yoğunluğunun sürekli arttığı hassas reaksiyon şeklinde değerlendirilmeye alınmıştır. Reaksiyon tipleri (D)= 0-

3 derecelerini kapsayan dayanıklılık, (I)= 4–6 derecelerini kapsayan intermediyerlik ve (H)= 7–9 derecelerini içeren hassasiyetlik olarak özetlendirilmiştir. Viyollerden hastalık oluşumları gözlemlenmiştir.

İlk denemede dayanıklı ve/veya tolerant olarak saptanan genotipler, ikinci defa gözleme tabi tutulmuştur. Ayrıca dayanıklı ve/veya tolerant olarak saptanan çeşitler saksılara şaşırtılarak serada büyüme bırakılmış ve başaklanma döneminin sonuna kadar bu genotiplerde olgun bitki dayanıklılığının olup olmadığı gözlemlenmiştir.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu araştırmada buğdayın önemli gen kaynaklarından birisi olan yerel makarnalık buğday çeşitlerinden 49 adedinde küleme hastalığına karşı genetik varyasyon incelenmiş ve yeni dayanıklılık gen(ler)inin varlığı araştırılmıştır.

İncelenen yerel makarnalık buğday çeşitlerinin ilk gelişme dönemi ve olgun bitki safhasında külemeye dayanıklılıkları gözlemlenmiş ve reaksiyon şekilleri belirlenmiştir. Alınan gözlem sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Araştırmada kullanılan makarnalık buğday çeşitlerinin isimleri, tohum kaynakları ve küleme hastalığına gösterdikleri reaksiyon tipleri.

			Hastalık Denemesi					Hastalık Denemesi	
Sıra No	Genotip	Toplandığı İl	1. Deneme	2. Deneme	Sıra No	Genotip	Toplandığı İl	1. Deneme	2. Deneme
1	TR 1926	İzmir	H	H	28	TR 52835	Burdur	H	H
2	TR 3619	Balıkesir	H	H	29	TR 52841	Denizli	H	H
3	TR 3626	Balıkesir	H	H	30	TR 55109	Uşak	H	H
4	TR 3670	Denizli	H	H	31	TR 55120	Kütahya	H	H
5	TR 14862	--	H	H	32	TR 55133	Kütahya	İ	H
6	TR 31634	Mardin	H	H	33	TR 55173	Kütahya	H	H
7	TR 31729	Şanlıurfa	D	D	34	TR 55108	Türkiye	H	H
8	TR 31738	Siirt	İ	H	35	TR 56132	Türkiye	H	H
9	TR 31760	Gaziantep	İ	H	36	TR 57129	Antalya	H	H
10	TR 33437	Kırklareli	H	H	37	Ağ Buğdayı	--	H	H
11	TR 37094	Çorum	İ	H	38	Beyaziye	--	İ	H
12	TR 37405	Çorum	D	H	39	Bintepe	--	İ	H
13	TR 45305	Yozgat	H	H	40	Boğacak	--	İ	H
14	TR 46555	Muğla	H	H	41	Çalibasan	--	İ	H
15	TR 46847	Hakkari	H	H	42	Hacıhalil	--	İ	H
16	TR 47931	Şanlıurfa	H	H	43	Havrani	--	İ	H
17	TR 47937	Adıyaman	H	H	44	İskenderiye	--	H	H
18	TR 47939	Adıyaman	H	H	45	Karakılıçık	--	H	H
19	TR 48339	Manisa	H	H	46	Menceki	--	H	H
20	TR 48343	Muğla	D	H	47	Sorgül	--	H	H
21	TR 48346	Aydın	İ	H	48	Üveyik	--	H	H
22	TR 48903	Adıyaman	H	H	49	Yerli Sarı	--	D	H
23	TR 50456	Adıyaman	H	H	50	Çeşit 1252	--	İ	H
24	TR 50469	Adıyaman	H	H	51	Gediz 75	--	İ	H
25	TR 50475	Adıyaman	İ	H	52	Sofu	--	H	H
26	TR 52708	Balıkesir	H	H	53	Bezostaja	--	İ	H
27	TR 52719	Balıkesir	H	H	54	Tahirova-2000	--	İ	İ

D: Dayanıklı, H: Hassas, İ: İntermediyer

Hastalık gözlemine alınan 49 yerel çeşit içinden fide döneminde sadece birinde dayanıklılık görülmüştür. Yerel çeşitlerden 14 tanesi ilk denemede orta derece dayanıklı bulunmuş, ancak ikinci denemede yerel çeşitlerden sadece biri (TR 31729) dayanıklı reaksiyon göstermiştir (Çizelge 2). Beş kontrol bitkisinden sadece ekmeçlik buğday çeşitlerinden Bezostaja-1 ve Tahirova-2000 orta derece dayanıklı bulunmuştur. Kontrol bitkilerinden Bezostaja-1 ve Tahirova-2000, yerel çeşitlerden ise TR 31729 ve Bintepe olgun bitki dayanıklılığının test edilmesi için saksılara şaşırtılarak serada büyüme alınmışlardır.

Bu bitkilere serada sürekli hastalık sporu bulaştırarak olgun bitki dayanıklılığına sahip olup olmadıkları gözlemlenmiştir. Bintepe yerel çeşidi ve Bezostaja-1 kontrol çeşidi ilk denemede orta derece dayanıklı reaksiyona sahipken, ikinci denemede yoğun epidemi altında fide döneminde hassas reaksiyon göstermişlerdir. Bu çeşitlerin olgun bitki dayanıklılığına da sahip olmadıkları dolayısıyla

hassas oldukları belirlenmiştir. TR 31729 numaralı yerel çeşitte tek (majör) gen dayanıklılığı gözlenmiştir. Tahirova-2000 çeşidi ise yoğun epidemi altında olmasına rağmen, tipik olgun bitki dayanıklılığı özelliği göstermiştir. Alt yapraklarda bir miktar hastalık oluşumu gözlenmesine rağmen sporlar bayrak yaprağı ve başakta gelişmemişlerdir.

Makarnalık buğdayın anavatanlarından biri olan Türkiye uygun ekolojisi nedeniyle dünyada kaliteli makarnalık buğday üretebilecek ülkelerin başında gelmektedir. Ancak istenen kalitede ve verimde üretim yapılabilmesi için mevcut çeşitlerin gerek hastalıklara dayanıklılık gerekse kalite bakımından ıslah edilmesi gerekmektedir (Yıldırım ve ark. 2019). Bu amaçla öncelikle buğdayda daralan genetik varyasyonun tekrar oluşturulması açısından, yetiştikleri yörelere uyum sağlamış, kendi içinde dahi genetik varyasyona sahip olan yerel çeşitler (Allard ve Bradshaw 1964) büyük bir öneme sahiptirler. Ayrıca yerel çeşitlerin birçok abiyotik ve biyotik stres faktörlerine karşı dayanıklılık genlerine sahip oldukları da belirlenmiştir (Hede ve ark. 1999, Hart 2001). Ülkemizde bugüne kadar yerli gen kaynaklarımızın yeterince karakterize edilmemiş olması da bu çalışmanın gerekliliğini ve önemini ortaya koymaktadır (Yıldırım ve ark. 2011).

Türkiye’de yetiştirilen mevcut makarnalık çeşitlerimizin büyük çoğunluğu külemeye hassastır. Bunun en önemli nedeni ıslah çalışmalarında pas hastalıkları gibi ekonomik olarak küllemeden daha önemli olan hastalıklara öncelik ve ağırlık verilmesidir. Oysa hastalığa uygun ekolojilerde külleme buğdayda %13’den %34’e varan oranlarda verim kaybına neden olabilmektedir (Griffey ve Das 1994, Yıldırım 2003). Verim kaybı yanında buğday danesinde ve samanında neden olduğu kalite kaybı da dikkate alındığında hastalığın önemi daha da artmaktadır.

Ülkemizde külemeye dayanıklı olarak bilinen ve yaygın olarak üretilen çeşitlerden birisi Bezostaja-1’dir. Otuz yıldan daha uzun süredir üretimde olan bu çeşit, 1RS/1BL translokasyon kromozomu (çavdar/buğday) üzerinde bulunan Pm8 genine sahiptir (Wricke ve ark. 1996). Yapılan bu çalışma Bezostaja-1 çeşidinin hassas reaksiyon göstermesi üzerine, artık bu dayanıklılık geninin kırıldığı ve yeni virülens gen(ler)in etkili olduğu da ortaya çıkarılmıştır.

Powers ve Sando (1960) da ekmeklik buğday ve külleme patojeni arasındaki konukçu-patojen ilişkisini konu alan gene karşı gen hipotezini doğrulamışlardır. Bilinen direnç genlerine sahip hatları ayırt edebilen bir dizi külleme izolatu kullanarak, bitki gen kaynakları aksesyonlarında veya kültür bitkilerinde majör (tek) dayanıklılık genleri ve gen kombinasyonları varlığı teyit edilebilir.

Buğday-Haynaldia villosa translokasyonu 6VS/AL’ dan Pm21 (Chen ve ark. 1995), Çin (Huang ve ark. 1997) ve Avrupa’da (Qi ve ark. 1996) var olan tüm külleme patojenlerine karşı direnç göstermektedir. Yapılan bir çalışmada Pm2 ve Pm21’e sıkıca bağlı olan veya Pm4a ile karşılıklı ayrılan RFLP markörleri kullanılarak, üç adet ikili-gen kombinasyonu (Pm2 + Pm4a, Pm2 + Pm21, Pm4a + Pm21) başarıyla elit bir buğday kültür bitkisi olan ‘Yang158’e entegre edilmiştir (Liu ve ark. 2002).

#### 4. Sonuç

Buğdayda şu ana kadar 50 lokusta tanımlanmış ve haritalanmış 78 adet dayanıklılık geni (*Pm1-Pm53*, *Pm18 = Pm1c*, *Pm22 = Pm1e*, *Pm23 = Pm4c*, *Pm31 = Pm21*) bulunmaktadır ve bunlardan 27 tanesi buğdayın yakın veya uzak akraba türlerinden aktarılmıştır (Sönmezoğlu ve ark. 2010; Elkot ve ark. 2015). Tanımlanan 50 lokustan 11’i buğdayın A genomuna, 26 tanesi B genomuna ve 13’ü D genomuna haritalanmıştır (Elkot ve ark. 2015). Buğdayda çalışılan külemeye dayanıklılık genlerinin büyük çoğunluğu majör (tek) gen özelliği göstermektedir. Buğday ıslahında kullanılan gen sayının artırılması, ekonomik ve uzun süreli dayanıklılığın sağlanması açısından oldukça önemlidir. Dolayısıyla bu çalışmada majör (tek) gen dayanıklılığına sahip olduğu saptanan TR 31729 numaralı yerel buğday çeşidi çok büyük bir önem arz etmektedir. Türkiye’deki mevcut külleme ırklarını temsil eden spor kokteyline karşı bu çeşidin dayanıklılığını sağlayan gen(ler)in daha önce kullanılmayan yeni bir gen(ler) olma ihtimali yüksektir.

Sonuç olarak, bu çalışmada belirlenen genetik varyasyon beklenenin çok altında çıkmış olsa da, yeni bir dayanıklılık gen kaynağının bulunmuş olması bile ileriye yönelik olarak ümit verici bir sonuçtur. Bu muhtemel yeni genin en kısa sürede genetik karakterizasyonu yapılarak, mevcut genlerden farklı olup olmadığı ortaya konulmalıdır. Yeni bir gen(ler) olduğunun belirlenmesi durumunda, yerel çeşitlerin buğdayla doğrudan melezlenebilmesi avantajından yararlanarak hızlı bir şekilde kültürü yapılan çeşitlere aktarılması mümkün olacaktır.

#### Kaynakça

- Alam, M. A., Wang, C., & Ji, W. (2013). Chromosomal location and SSR markers of a powdery mildew resistance gene in common wheat line N0308. *African journal of Microbiology Research*, 7(6), 477-482.
- Allard, R. W., & Bradshaw, A. D. (1964). Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding 1. *Crop science*, 4(5), 503-508.
- Cao, X., Luo, Y., Zhou, Y., Duan, X., & Cheng, D. (2013). Detection of powdery mildew in two winter wheat cultivars using canopy hyperspectral reflectance. *Crop Protection*, 45, 124-131.
- Chen, P. D., Qi, L. L., Zhou, B., Zhang, S. Z., & Liu, D. J. (1995). Development and molecular cytogenetic analysis of wheat-Haynaldia villosa 6VS/6AL translocation lines specifying resistance to powdery mildew. *Theoretical and Applied Genetics*, 91(6-7), 1125-1128.
- Clarke J., Marchylo, B., Noll, J., & Mc Caig, T (1996). The Screening of Durum Wheats for Pasta Quality: The Canadian System. 5th International Wheat Conference Abstracts, 10-14 Haziran 1996, 233-234 s., Ankara.



- Cowger, C., Mehra, L., Arellano, C., Meyers, E., & Murphy, J. P. (2018). Virulence differences in *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* from the central and eastern United States. *Phytopathology*, 108(3), 402-411.
- Demir, İ., Yüce, S., Bilgen, G., Tanyolaç, B., Oğuz, & İ. (1999). Bazı Genotiplerin Tanımlanmasında DNA Parmak İzlerinin Kullanılması Üzerinde Araştırmalar. Ege Üniversitesi, DTP Proje No:97 K120900, Bornova-İzmir.
- Elkot, A. F. A., Chhuneja, P., Kaur, S., Saluja, M., Keller, B., & Singh, K. (2015). Marker assisted transfer of two powdery mildew resistance genes *PmTb7A. 1* and *PmTb7A. 2* from *Triticum boeoticum* (Boiss.) to *Triticum aestivum* (L.). *PLoS one*, 10(6), e0128297.
- Geçit, H. H., Çiftçi, C. Y., Emeklier, Y., İkinci Karakaya, S. Ü., Adak, M. S., Kolsarıcı, Ö., Ekiz, H., Altınok, S., Sancak, C., Sevimay, C. S., & Kendir, H. (2009). Tarla Bitkileri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No: 1569, Ders Kitabı: 521.
- Griffey, C. A., & Das, M. K. (1994). Inheritance of adult-plant resistance to powdery mildew in Knox 62 and Massey winter wheats. *crop science*, 34(3), 641-646.
- Hart, G. E. (2001). Molecular-marker maps of the cultivated wheats and other *Triticum* species. In *DNA-Based Markers in Plants* (pp. 421-441). Springer, Dordrecht.
- Heaney, S. P., Hall, A. A., Davies, S. A., & Olaya, G. (2000). Resistance to fungicides in the Qol-STAR cross-resistance group: current perspectives. In *The BCPC Conference: Pests and diseases, Volume 2. Proceedings of an international conference held at the Brighton Hilton Metropole Hotel, Brighton, UK, 13-16 November 2000* (pp. 755-762). British Crop Protection Council.
- Hede, A. R., Skovmand, B., Reynolds, M. P., Crossa, J., Vilhelmsen, A. L., & Stølen, O. (1999). Evaluating genetic diversity for heat tolerance traits in Mexican wheat landraces. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 46(1), 37-45.
- Singrün, C., Rauch, P., Morgounov, A., Hsam, S., & Zeller, F. (2004). Identification of powdery mildew and leaf rust resistance genes in common wheat (*Triticum aestivum* L.). Wheat varieties from the Caucasus, Central and Inner Asia. *Genetic resources and crop evolution*, 51(4), 355-370.
- Kösem S (2004). Önemli Tahıl Hastalıkları Zararlıları ve Mücadelesi Edirne Ticaret Borsası (<http://www.wetborgtr/hastaliklar.htm>).
- Heun, M., Friebe, B., & Bushuk, W. (1990). Chromosomal location of the powdery mildew resistance gene of Amigo wheat. *Phytopathology*, 80(10), 1129-1133.
- Hong-Jie, L. I., Xiao-Ming, W. A. N. G., Feng-Jing, S. O. N. G., Cui-Ping, W. U., Xiao-Fei, W. U., Zhang, N., ... & ZHANG, X. Y. (2011). Response to powdery mildew and detection of resistance genes in wheat cultivars from China. *Acta Agronomica Sinica*, 37(6), 943-954.
- Liu, Z., Sun, Q., Ni, Z., Nevo, E., & Yang, T. (2002). Molecular characterization of a novel powdery mildew resistance gene *Pm30* in wheat originating from wild emmer. *Euphytica*, 123(1), 21-29.
- McDonald, B. A., & Linde, C. (2002). Pathogen population genetics, evolutionary potential, and durable resistance. *Annual review of phytopathology*, 40(1), 349-379.
- Ovesna, J., Kucera, L., Bockova, R., & Holubec, V. (2002). Characterisation of powdery mildew resistance donors within *Triticum boeoticum* accessions using RAPDs. *Czech journal of genetics and plant breeding*, 38(3/4), 117-124.
- Pehlivan, A., & Ünver, S.İ. (2017). Makarnalık Buğdayda Kalite Islahı Çalışmaları. *Tarla bitkileri merkez araştırma enstitüsü dergisi*, 26(1), 127-151.
- Powers, H., & Sando, W. J. (1960). Genetic control of the host-parasite relationship in Wheat powdery mildew. *Phytopathology*, 50(6).
- Qi, L., Cao, M., Chen, P., Li, W., & Liu, D. (1996). Identification, mapping, and application of polymorphic DNA associated with resistance gene *Pm21* of wheat. *Genome*, 39(1), 191-197.
- Samobor, V., Vukobratović, M., & Jošt, M. (2006). Effect of powdery mildew attack on quality parameters and experimental bread baking of wheat. *Acta Agric. Slov*, 87, 381-391.
- Schwessinger, B. (2017). Fundamental wheat stripe rust research in the 21st century. *New Phytologist*, 213(4), 1625-1631.
- Sönmezoglu, Ö. A., Yıldırım, A., Güleç, T. E., & Kandemir, N. (2010). Markör Destekli Seleksiyonun Buğday Islahında Kullanımı. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2010(1), 105-112.
- Shen, X. K., Ma, L. X., Zhong, S. F., Liu, N., Zhang, M., Chen, W. Q., ... & Bai, G. H. (2015). Identification and genetic mapping of the putative *Thinopyrum* intermedium-derived dominant powdery mildew resistance gene *PmL962* on wheat chromosome arm 2BS. *Theoretical and applied genetics*, 128(3), 517-528.
- Turgay, E. B., Büyük, O., Ölmez, F., Yıldırım, A. F., & Zafer, M. E. R. T. İç Anadolu Bölgesinde Buğdayda Septorya yaprak lekesi hastalığının [*Zymoseptoria tritici* (Desm. Quaedvlieg & Crous)] yaygınlığının belirlenmesi ve moleküler tanılanması. *Bitki Koruma Bülteni*, 56(3).
- USDA (2017). World Agricultural Production. <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/productionpdf>.
- Wricke, G., Dill, P., & Senft, P. (1996). Linkage between a major gene for powdery mildew resistance and an RFLP marker on chromosome 1R of rye. *Plant breeding*, 115(1), 71-73.
- Xiao, M., Song, F., Jiao, J., Wang, X., Xu, H., & Li, H. (2013). Identification of the gene *Pm47* on chromosome 7BS conferring resistance to powdery mildew in the Chinese wheat landrace Hongyanglazhi. *Theoretical and Applied Genetics*, 126(5), 1397-1403.
- Yahiaoui, N., Srichumpa, P., Dudler, R., & Keller, B. (2004). Genome analysis at different ploidy levels allows cloning of the powdery mildew resistance gene *Pm3b* from hexaploid wheat. *The Plant Journal*, 37(4), 528-538.
- Yıldırım, A., Sakin, M., Karadag, Y., Gokmen, S., Kandemir, N., Akkaya, M. S., & Yıldırım, F. (2004). Genetic marker mediated transfer of an alien gene, *Pm21*, into wheat conferring resistance to powdery mildew. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 18(2), 15-19.
- Yıldırım, A., Ateş Sönmezoglu, Ö., Gökmen, S., Kandemir, N., Aydın, N. (2011). Determination of Genetic Diversity among Turkish Durum Wheat Landraces by Microsatellites. *African Journal of Biotechnology*. 10 (19), 3915-3920.



- Yıldırım, A., Ateş Sönmezoğlu, Ö., Sayaslan, A., Kandemir, N., Gökmen, S. (2019). Molecular Breeding of Durum Wheat for Pasta Quality. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 11(1), 15-21.
- Yang, L., Zhang, X., Zhang, X., Wang, J., Luo, M., Yang, M., & Fu, D. (2017). Identification and evaluation of resistance to powdery mildew and yellow rust in a wheat mapping population. *PloS one*, 12(5), e0177905.



# Silivri (İstanbul) ve Çanakkale Boğazı Arasındaki Denizel Sedimanların Element Konsantrasyonlarının ICP-OES ve LIBS Yöntemleri İle Analizi ve Korelasyonu

Zeki Ünal Yümün<sup>1\*</sup>, Erol Kam<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Çorlu, Tekirdağ, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0658-0416)

<sup>2</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5850-5464)

(İlk Geliş Tarihi 29 Eylül 2019 ve Kabul Tarihi 18 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.626485)

**ATIF/REFERENCE:** Yümün, Z. Ü. & Kam, E. (2019). Silivri (İstanbul) ve Çanakkale Boğazı Arasındaki Denizel Sedimanların Element Konsantrasyonlarının ICP-OES ve LIBS Yöntemleri İle Analizi ve Korelasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 951-958.

## Öz

Bu çalışmada Marmara Denizi deniz sedimanlarının toksik element (Fe, Zn, Al, Mn, Co, Cr, Cu, Ni, Na, Mg, K, Ca) konsantrasyonları LIBS (Lazer İndüklenmiş Plazma Spektroskopisi) ve ICP-OES (İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi) teknikleri ile belirlenmiştir. LIBS tekniği ile elde edilen sonuçların desteklenmesi için aynı sediman örnekleri ICP-OES yöntemi ile de analiz edilmiştir. İki yöntemden de elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında LIBS yönteminin sediman örnekleri üzerinde kullanılabilirliği görülmüştür. Çünkü ICP-OES ile elde edilen sonuçlar ile LIBS ile elde edilen sonuçlar birbirleri ile paralellik göstermektedir. Geleneksel diğer tüm yöntemlerden hızlı sonuç vermesi, taşınabilir olması, analiz maliyetlerinin düşük olması, kullanılan örneğin analiz sırasında zarar görmemesi ve tekrar kullanılabilmesi ve ön hazırlık sürecinin kısa olması gibi avantajları vardır. Bununla birlikte LIBS yöntemi, doğal ve antropojenik kökenli elementlerin belirlenmesi için önemli ve pratik bir tekniktir. Bu metot günümüzde gıda, çevre, sağlık ve tekstil alanlarında kullanılan yeni bir yöntemdir. ICP-OES yöntemiyle yapılan analiz sonuçlarında elementlerin miktarları ppm cinsinden, LIBS yöntemiyle elde edilen analiz sonuçları ise sadece % cinsinden verilmektedir. Bu çalışmada ICP-OES analizi sonucuna göre Zn (42.2-111.7 ppm), Mn (163.2-581.1 ppm), Co (37.14-65.87 ppm), Cr (42.5-112.6 ppm), Cu (5.71-24.33 ppm), Ni (98.20-175.55 ppm), Al (16568.8-24850.9 ppm), Fe (20936.9-37397.9 ppm), Na (5223.4-12384.7), Mg (4800.4-7385.3 ppm), K (3290.8-5582.0), Ca (42405.2-154577.0 ppm) olarak elde edilmiştir. LIBS analiz sonuçlarında; Zn (% 0-22), Mn (%0-28), Co (%0-21), Cr (%0-23), Cu (%0-19), Ni (%0-2), Al (%67-78), Fe (%94-95), Na (%70-87), Mg (%82-90), K (%85-94), Ca (%66-80) olarak elde edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde LIBS yönteminin; Antropojenik faktörlerle deniz sedimentinde artan Mn, Cr, Co ve Cu gibi toksik elementlerin belirlenmesinde önemli sonuçlar verdiği görülmüştür. Denizel veya karasal ortamlardaki elementlerin kaynağını belirlemek için LIBS metodu, ICP-OES metodu ile paralellik gösterdiği için kullanılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** LIBS, ICP-OES, Toksik Element, Marmara Denizi, Çanakkale Boğazı

## Analysis and Correlation of Element Concentrations of Marine Sediments between Silivri (İstanbul) and Dardanelles by ICP-OES and LIBS Methods

### Abstract

In this work, the LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy) and ICP-OES (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer) technique applied to the determination of total concentration of some elements (Fe, Zn, Al, Mn, Co, Cr, Cu, Ni, Na, Mg, K, Ca) derived from soil samples of Marmara Sea. To support to the technique, LIBS data were compared with data have been obtained on the same soil samples by application of Conventional Inductively Coupled Plasma Spectroscopy (ICP-OES). The similarity of results obtained between the two sets of data suggested the potential applicability of the LIBS technique to the

\* Sorumlu Yazar: Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Çorlu, Tekirdağ, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0658-0416), [zyumun@nku.edu.tr](mailto:zyumun@nku.edu.tr)

measurement of elements in soils. According to the study, it has been seen that the elements determined by ICP-OES analysis also determined by LIBS method. It has the advantages of being faster than other traditional methods, being portable, having low analysis costs, not being damaged and re-used during the analysis and short preparation period. However, the LIBS method is an important and practical technique for the determination of elements of natural and anthropogenic origin. In the analysis made by ICP-OES method, the amounts of the elements in ppm are determined, while the results of LIBS analysis show the presence of the element only in %. According to LIBS method, Zn, Mn, Co, Cr and Cu concentrations vary according to each region. In this study, according to ICP-OES analysis, Zn (42.2-111.7 ppm), Mn (163.2-581.1 ppm), Co (37.14-65.87 ppm), Cr (42.5-112.6 ppm), Cu (5.71-24.33 ppm), Ni ( 98.20-175.55 ppm), Al (16568.8-24850.9 ppm), Fe (20936.9-37397.9 ppm), Na (5223.4-12384.7), Mg (4800.4-7385.3 ppm), K (3290.8-5582.0) and Ca (42405.2-154577.0 ppm) ). LIBS analysis results showed that parallels Zn (0-22%), Mn (0-28%), Co (0-21%), Cr (0-23%), Cu (0-19%), Ni (%) 0-2), Al (67-78%), Fe (94-95%), Na (70-87%), Mg (82-90%), K (85-94%), Ca (66-%) 80). The LIBS method is an important technique for identifying elements enriched with anthropogenic factors and elements originating from natural processes. The LIBS method can be used to determine the source of elements in marine or terrestrial environments. In addition, the LIBS method; It has also shown important results in the determination of toxic elements such as Mn, Cr, Co and Cu which increase in marine sediment by anthropogenic factors.

**Keywords:** LIBS, ICP-OES, Toxic Element, Marmara Sea, Çanakkale Strait

## 1. Introduction

With the development of industry in recent years, all seas are highly polluted due to anthropogenic and natural waste. The main accumulation point of marine pollution is sediments at the sea floor. Since the toxic elements coming from terrestrial environments to marine environments cannot be biodegraded, they precipitate and accumulate in the sediment. Specifically, living things in the sediment suffer the greatest damage from this pollution. Since toxic elements are not biodegradable, it is one of the most damaging pollutant parameters.

Toxic elements that are mixed into the marine environment can be mixed in different ways such as agricultural activities (fertilizers and pesticides), industrial liquid and solid wastes, municipal wastes and ship wastes [1]. Determination and monitoring of sediment quality is very important for public health and environmental quality. The determination of toxic elements in the sediment content is important for determining the types of protective measures to be taken in the receiving environment. Conventional methods such as ICP-OES, ICP-MS and XRF are the most commonly used methods for the analysis of sediment quality in terms of toxic elements. These are very reliable methods that give quantitative results. However, the main disadvantages of these methods are the preparation process, measurement time, measurement costs, contamination of the solutions used and the inability of the measuring device to be portable. In recent years, new measurement methods have been started to be investigated by considering these disadvantages. In particular, the portable devices are the most important advantage. With the development of technology, LIBS (Laserinduced breakdown spectroscopy) method has gained importance instead of traditional methods.

The LIBS method has been used in the determination of the elements on the surface of Mars and has attracted attention in scientific researches. The most important advantages of the method are that the LIBS device is portable, there is no sample preparation process, it does not damage the sample surface during the measurement process and it gives fast measurement results [2 and 3]. Due to these advantages, LIBS is used in many different fields such as environment, industry, biology, chemistry, medicine and geology [4, 5, 6, 7, 8, 9 and 10].

## 2. Material and Method

### 2.1. Sample Collection

In this work, seventeen core sediments samples have been examined. Samples were taken from between Silivri (İstanbul) and Çanakkale Strait. The soil samples were selected on the basis of their representativity of investigation area. The coordinates of the samples are given in Table 1 and the location map are shown in Figure 1.

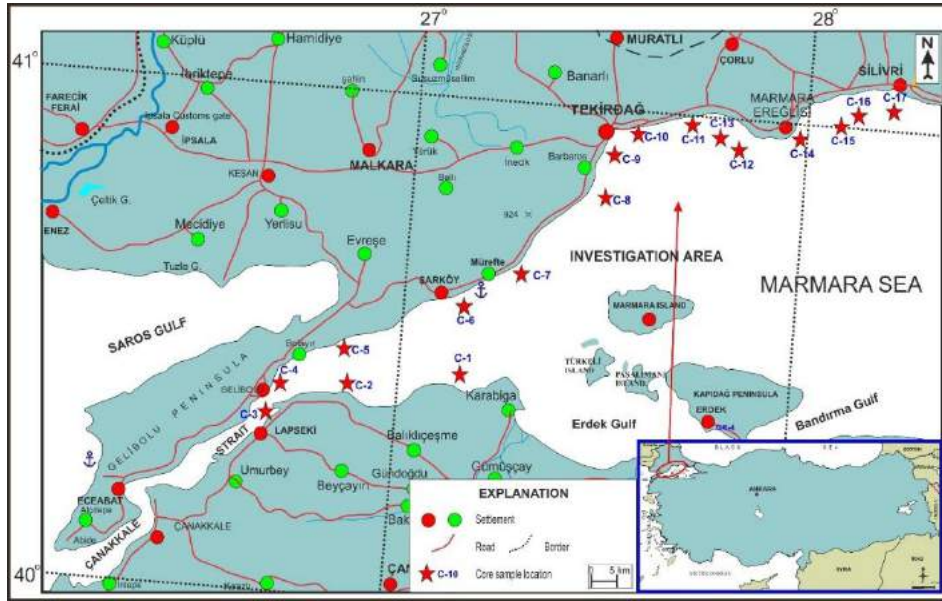


Figure 1. Location map of investigation area and sample locations

Table 1. Sample coordinates of the work area

CORE SAMPLE NO	DEPTH (m)	GEOGRAPHIC POSITION (WGS-84)	
		Y	X
Core 1	46	051 44 52	447 87 84
Core 2	29	049 02 82	447 33 47
Core 3	36	047 39 14	446 99 71
Core 4	43	047 29 08	447 24 87
Core 5	26	048 80 99	448 10 25
Core 6	41	051 10 08	449 48 09
Core 7	30	540197	4522435
Core 8	33	542591	4530386
Core 9	32	546815	4533986
Core 10	30	560139	4536953
Core 11	32	569767	4535792
Core 12	33	580368	4533824
Core 13	33	588549	4541739
Core 14	32	596782	4544493
Core 15	30	603222	4545684
Core 16	31	540197	4522435
Core 17	35	542591	4530386

## 2.2. Performing the Analysis

Two different methods were used to determine the elemental composition of sediment samples. For ICP-OES analysis, we divided the toxic elements into groups 1 and 2. First of all, element analysis of (Fe, Zn, Al, Mn, Co, Cr, Cu, Ni, Na, Mg, K, Ca) the samples taken from the sediment samples obtained from the study area was carried out in the Scientific and Technological Research and Application Center of Namik Kemal University using the ICP-OES device [11]. For these analyzes, firstly sediment samples have been dried and pounded using mortar. These samples have been separated as 0,5 gr. The collected samples are placed in incineration tubes and burned for 1 hour at 98°C and 1.5 hours at 200°C by adding 12 ml HNO<sub>3</sub> and 4 mL HCl.

After the lids of the cooling tubes have been pulled out in the furnace, it has been completed to 50 ml with ultrapure water and filtered using filter papers. Elemental analysis was performed using the ICP-OES device. The samples have been placed in the measurement unit of the ICP-OES device and readings made [11, 12, 13 and 17].

The other method of analysis is LIBS. Laser Induced Plasma Spectroscopy (LIBS) is an optical emission spectroscopy method used for multi-elemental analysis of materials. LIBS is an alloy identification tool which can also deliver a good chemistry when

required. The technique involves short, high-intensity laser pulses capable of ablating a small amount of material, thereby creating a momentary plasma. It's one of the fastest analytical technologies available today to analysis sediments. Laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) technique offers many advantages for in sediment elements analysis. In the last years, It has gained a great popularity in elemental analysis because of its portability, lightning speed, low cost, nonrequirement for chemicals, minimal or no sample preparation, simultaneous determination of multiple elements, and capability to perform express identification [14] . The optimum instrumental parameters for soil analysis have been obtained when repetition rate, td, and tw equaled 10 Hz, 1  $\mu$ s, and 10  $\mu$ s, respectively. Standard reference material (SRM-2586) has been used to prepare pellets for the parameter analysis (Yang, 2009). Samples taken from the same levels have been placed into the pellet container which is 20-25 gr and pressed for 5 seconds in the press machine under a pressure of approximately 100 bar. This form of samples is called the pellet. The pelletized samples have been placed in locked pouches and sent to the LIBS analysis [10,15,18].

### 3. Findings

The results of ICP-OES analysis of the study area have been given in Table 2 and the results of LIBS method also given in Table 3. Toxic elements are classified as group 1 and group 2.

**Tablo 2. ICP-OES analysis results of core samples (Yümün, 2017)**

CORE SAMPLE NO	ZN (PPM)	MN (PPM)	CO (PPM)	CR (PPM)	CU (PPM)	NI (PPM)	AL (PPM)	FE (PPM)	NA (PPM)	MG (PPM)	K (PPM)	CA (PPM)
CORE-1	111.7	414.0	61.75	66.4	22.52	117.30	24850.9	34352.0	9376.1	5660.6	5582.0	61444.0
CORE-2	79.6	308.1	53.09	44.0	22.00	87.00	21585.3	29663.9	8260.7	6053.7	4340.7	116603.0
CORE-3	98.5	359.0	63.27	69.1	24.33	121.31	24322.1	34764.6	8744.5	5593.9	4781.1	42405.2
CORE-4	83.8	464.6	60.90	78.9	22.21	154.47	23652.5	31169.2	8758.8	7160.5	5536.8	65945.2
CORE-5	59.2	320.9	45.95	61.9	15.94	121.23	20963.3	25975.4	12384.7	9569.1	5283.4	194094.0
CORE-6	92.6	581.1	78.56	112.6	22.50	217.15	24235.6	37397.9	7614.5	8993.3	5652.5	66031.9
CORE-7	94.7	508.3	77.74	106.3	21.62	214.77	23723.4	36989.0	8129.7	8579.0	5652.7	54287.2
CORE-8	87.4	332.3	61.70	81.0	21.16	171.72	23367.9	33354.8	7892.8	6351.6	5171.6	49661.0
CORE-9	76.4	416.4	65.87	79.2	18.38	175.55	21550.8	31759.4	6606.2	6907.8	4406.8	51710.9
CORE-10	74.7	386.8	64.19	81.5	17.05	168.15	21896	31733.3	6604.9	6617.1	4755.4	55814.9
CORE-11	54.1	229.4	41.06	52.1	11.39	113.25	20515.2	24098.0	8513.4	6869.3	4534.1	154577.0
CORE-12	69.2	303.6	54.07	67.8	14.52	146.84	22556.8	29657.9	10340.0	6680.6	5003.5	68214.4
CORE-13	51.8	222.8	42.98	51.5	11.22	107.05	20182.9	23867.4	7062.5	5032.8	4045.7	84885.1
CORE-14	42.2	319.9	43.52	45.9	5.71	98.20	16568.8	22484.8	5223.4	4387.1	2874.9	50987.6
CORE-15	77.3	326.5	55.49	80.6	18.22	157.22	25265.9	31778.0	15359.4	7385.3	6892.6	77610.1
CORE-16	46.9	194.3	37.14	42.5	10.33	98.58	18610.3	21508.8	8902.1	6010.4	4041.8	157686.0
CORE-17	42.3	163.2	38.69	46.1	9.35	106.40	17768.2	20936.9	6046.8	4800.4	3290.8	80924.2

When the LIBS analysis results were examined, it was observed that the elements such as Fe, Al, Ca, K, Mg and Na which are in the natural structure of the soil, had a higher percentage. The LIBS results of the same elements have been compared with the ICP-OES results, it has been observed that the elements with high percentage in the LIBS analysis are high concentration values in the ICP-OES results (Figure 2 and 3).



Table 3. LIBS analysis results of core samples

CORE SAMPLE NO	ZN (%)	MN (%)	CO (%)	CR (%)	CU (%)	NI (%)	AL (%)	FE (%)	NA (%)	MG (%)	K (%)	CA (%)
CORE-1	16	22	20	19	15	2	78	95	75	82	89	75
CORE-2	0	24	21	23	0	0	70	94	74	83	88	73
CORE-3	5	20	18	20	15	2	75	95	75	80	85	70
CORE-4	0	19	16	17	19	0	74	95	70	90	89	80
CORE-5	5	16	15	14	18	2	75	95	70	90	85	80
CORE-6	2	15	15	10	18	2	75	95	70	85	92	80
CORE-7	0	20	16	0	0	0	73	95	71	88	91	76
CORE-8	0	28	0	0	0	0	67	95	72	82	87	66
CORE-9	0	18	15	0	0	0	71	94	72	89	90	79
CORE-10	5	16	13	12	15	1	70	95	70	85	85	80
CORE-11	8	18	15	10	7	2	74	95	73	84	97	80
CORE-12	22	0	0	0	0	0	72	94	87	90	94	81
CORE-13	15	27	18	13	11	0	73	95	71	80	94	73
CORE-14	10	22	15	10	8	2	75	95	70	75	93	75
CORE-15	6	20	16	25	9	3	74	95	70	84	79	81
CORE-16	22	20	16	25	5	1	74	95	83	77	93	71
CORE-17	16	18	15	22	3	1	75	90	85	76	92	70

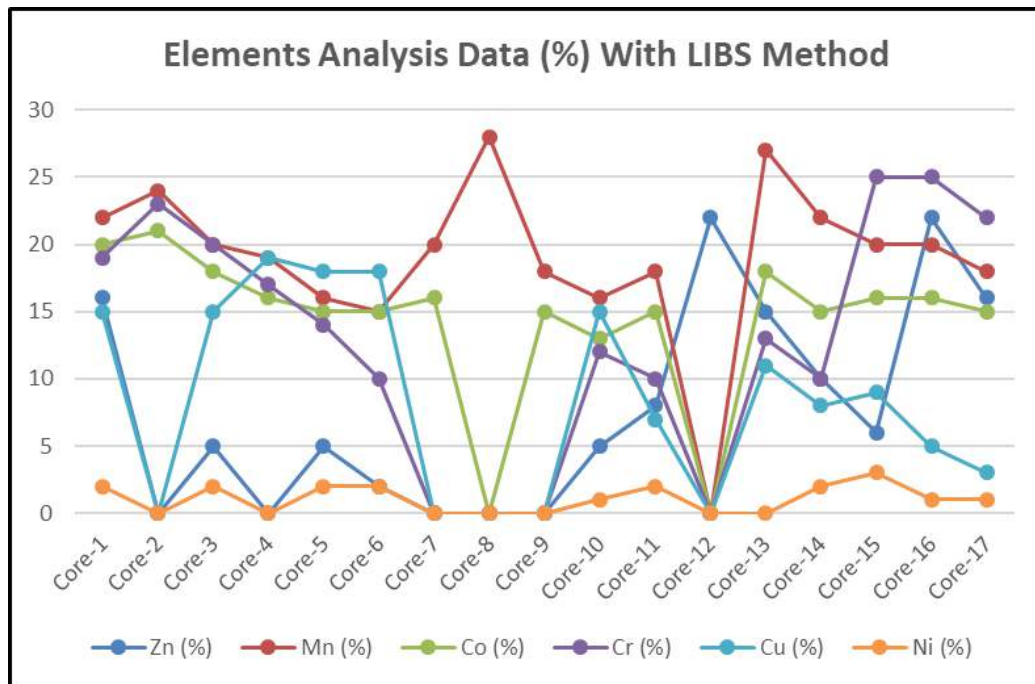


Figure 2. LIBS analysis results of core samples

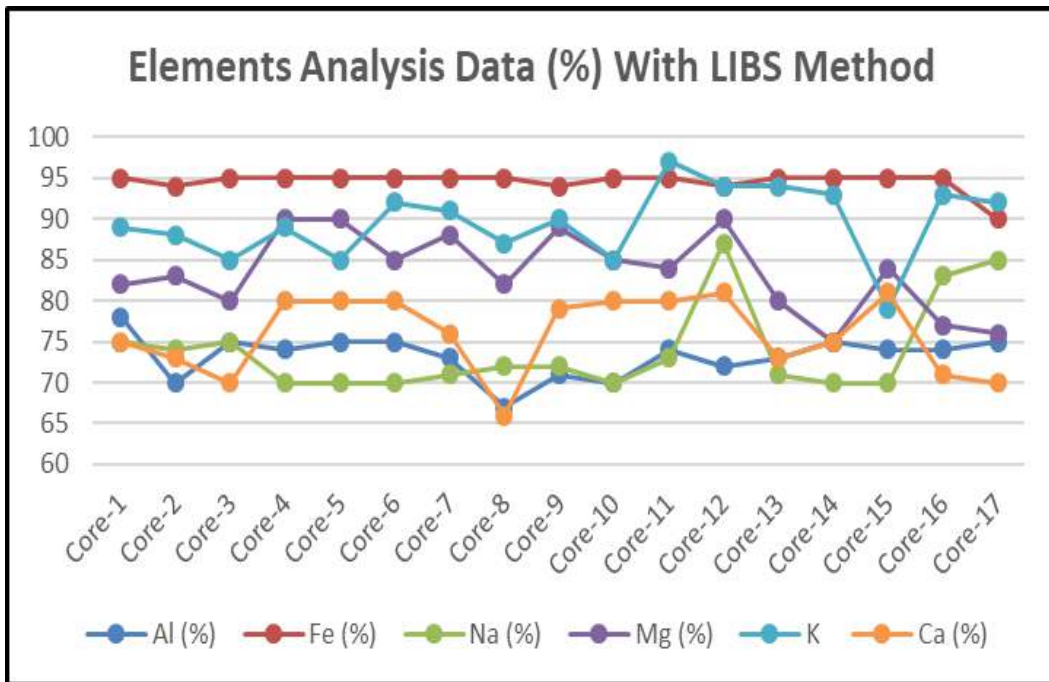


Figure 3. LIBS analysis results of core samples (Al, Fe, Na, Mg, K, Ca)

In addition, the LIBS method; It has also shown important results in the determination of toxic elements such as Mn, Cr, Co and Cu which increased in sea sediment with anthropogenic factors (Figure 2 and 3).

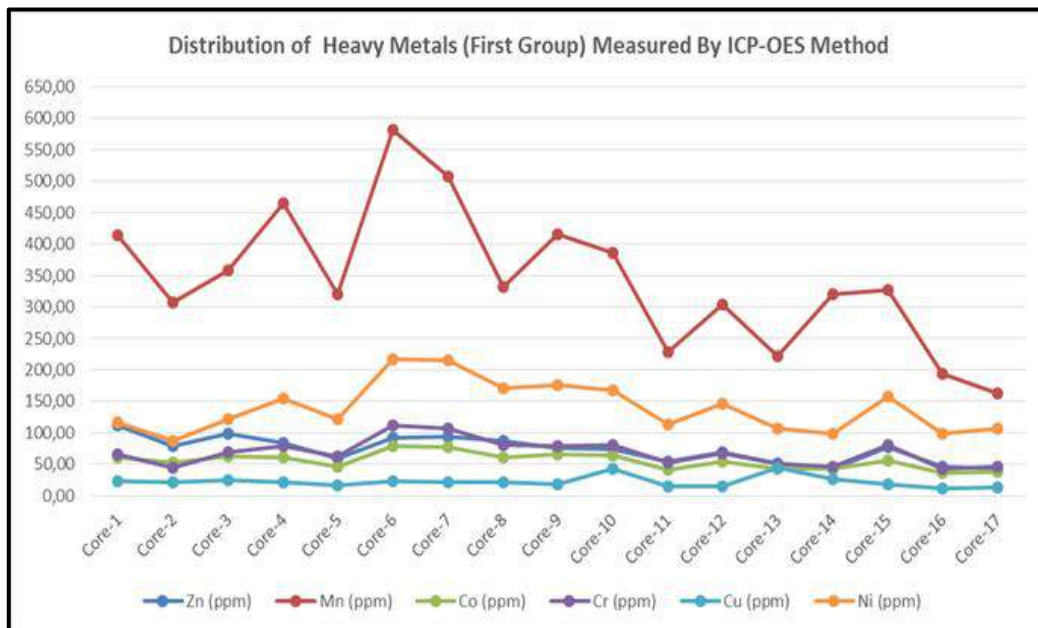


Figure 4. ICP-OES analysis results first group elements of core samples

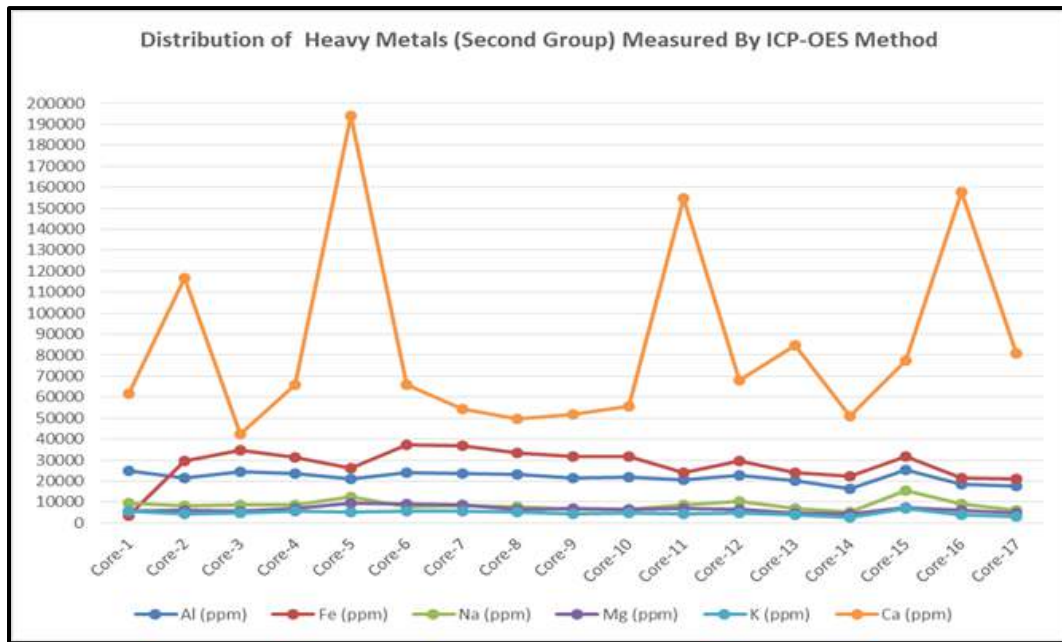


Figure 5. ICP-OES analysis results second group elements of core samples

## 4. Conclusions

This study demonstrates that the LIBS technique used in the determination of many heavy metals in soil is successful in qualitative recognition of metal species. However, when metal concentration values need to be measured, they are considered semi-quantitative. The LIBS method proved its usefulness compared to conventional methods such as ICP-OES. Despite its some disadvantages, LIBS method can be considered as a useful analytical technique for its intrinsic advantages.

The existence of the elements present in the sample by the LIBS method is determined by a probability defined by %. In contrast, the analysis does not give the amounts of elements in the sample. Although this is seen as a disadvantage, this method gives very useful results for practical and preliminary investigations. According to ICP-OES analysis are Zn (42.2-111.7 ppm), Mn (163.2-581.1 ppm), Co (37.14-65.87 ppm), Cr (42.5-112.6 ppm), Cu (5.71-24.33 ppm), Ni (98.20-175.55 ppm), Al (16568.8-24850.9 ppm), Fe (20936.9-37397.9 ppm), Na (5223.4-12384.7), Mg (4800.4-7385.3 ppm), K (3290.8-5582.0) and Ca (42405.2-154577.0 ppm). LIBS analysis results showed that parallels Zn (0-22%), Mn (0-28%), Co (0-21%), Cr (0-23%), Cu (0-19%), Ni (%) 0-2), Al (67-78%), Fe (94-95%), Na (70-87%), Mg (82-90%), K (85-94%), Ca (66-80). In this study, when the analysis results were examined, it has been seen that the elements (Fe, Zn, Al, Mn, Co, Cr, Cu, Ni, Na, Mg, K, Ca) determined by ICP-OES analysis were also determined by LIBS method. In the analysis made by ICP-OES method, the amounts of the elements in ppm are determined, while the results of LIBS analysis show the presence of the element only in %. According to LIBS method, Zn, Mn, Co, Cr and Cu concentrations vary according to each location. This result obtained by LIBS method gave similar results with ICP-OES method. If analyzes are performed to determine the origin of elements in the medium, the LIBS method is an important technique for identifying elements enriched with anthropogenic factors and elements originating from natural processes.

## References

- [1] Senesi, G.S., Baldassarre, G., Senesi, N. & Radina, B. (1999). Trace element inputs into soils by anthropogenic activities and implications for human health. *Chemosphere*, 39, 343–377.
- [2] Rusak D. A., Castle B.C., Smith B.W. & Winefordner J.D. (1997). Fundamentals and Applications of Laser Induced Breakdown Spectroscopy. *Crit. Rev. Anal. Chem.* 27. 257-290.
- [3] Song K., Lee Y. & Sneddon J. (1997). Applications of Laser Induced Breakdown Spectroscopy. *Appl. Spectrosc. Rev.* 32 (3). 183-235.
- [4] Velioglu M. H., Sezer B., Bilge G., Baytur S.E. & Boyacı I.H.(2018). Identification of Offal Adulteration in Beef by Laser Induced Breakdown Spectroscopy. *Meat Science*. 138. 28-33.
- [5] Christopher, D. R. & Scott, G. R. (2003). Laser-induced Breakdown Spectroscopy for the Detection of Gunshot Residues on the Hands of a Shooter. *Applied Optics*. 42.30.
- [6] Almessiere, M.A., Altuwiriqi, R., Gondal, M.A., Aldakheal, R.K. & Alotaibi, H.F. (2018). Qualitative and quantitative analysis of human nails to find correlation between nutrients and vitamin D deficiency using LIBS and ICP-AES. *Talanta*. 185.61-70.

- [7] Anzano, J.M., Villoria, M.A., Ruíz-Medina, A. & Lasheras, R.J. (2006). Laser-induced breakdown spectroscopy for quantitative spectrochemical analysis of geological materials: Effects of the matrix and simultaneous determination. *Analytical Chimica Acta* 575 (2): 230-235.
- [8] Samek, O., Krzyżánek, V., Beddows, D.C., Telle, H.H., Kaiser, J. & Liška, M. (2001). In: material identification using laser spectroscopy and pattern recognition algorithms. *International Conference on Computer Analysis of Images and Patterns*, Springer, Berlin: 443–450.
- [9] Vadillo, J.M., Cardell, K., Cremers, D.A. & Laserna, J.J. (1999) . Rapid screening method for heavy metals in contaminated soils using LIBS. *Quimica Analytica*, 18: 169- 174.
- [10] Yümün, Z. U., Kam, E. & Once, M. (2019). Analysis of Toxic Element with Icp-Oes and Libs Methods in Marine Sediments Around the Sea of Marmara in Kapıdağ Peninsula. *Journal of Engineering Technology and Applied Sciences* 4 (1). : 43-50.
- [11] Yümün, Z.U. (2017). The effect of heavy metal pollution on foraminifera in the western Marmara Sea (Turkey). *Journal of African Earth Science*.129. 346-365.
- [12] Yümün, Z.U. & Once, M. (2017). Monitoring heavy metal pollution in foraminifera from the Gulf of Edremit (northeastern Aegean Sea) between Izmir, Balıkesir and Çanakkale (Turkey). *Journal of African Earth Sciences*.
- [13] Kam, E. & Once, M. (2016). Pollution Potential Of Heavy Metals In The Current Sea Sediments Between Bandırma (Balıkesir) And Lapseki (Çanakkale) In The Marmara Sea. *Journal of Engineering Technology and Applied Sciences*. 3.141-148.
- [14] Barbini, R., Colao, F., Fantoni, R., Palucci, A. & Capitelli, F., (1999). Application of laser induced breakdown spectroscopy to the analysis of metals in soils. *Appl. Phys. A* 69: S175–S179 Supp. 1.
- [15] Yang, N. (2009). Elemental Analysis of Soil Using Laser-Induced Breakdown Spectroscopy . *University of Tennessee. Master Theses*.
- [16] Pandhija, S., Rai, N.K., Rai, A.K. & Thankur, S.N. (2010). Contaminant Concentration in Enviromental Samples Using LIBS and CF-LIBS. *Applied Physics B*. 98. 231-241.
- [17] Yümün, Z.U. (2016). The Effects of Heavy Metal Concentrations in The Çanakkale Strait (Turkey): Morphological Differences in The Holocene Foraminiferal Assemblages. *Journal of Engineering Technology and Applied Sciences*. 1(2). 77-88.
- [18] Schecter, I. (1997). Laser Induced Plasma Spectroscopy. *A Rewiev of Recent Advances. Rev. Anal. Chem.* 16 (3). 173-298.



# Characterization of Some Physicochemical Properties of Cold Press Sweet Cherry (*Prunus avium*) Seed Oil

İlker Atik<sup>1\*</sup>, Ramazan Sevik<sup>2</sup>, Salih Karasu<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe University, Afyon Vocational School, Food Quality Control and Analysis Program, Afyonkarahisar Turkey (ORCID: 0000-0001-8049-0465)

<sup>2</sup>Afyon Kocatepe University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, Afyonkarahisar Turkey, (ORCID: 0000-0002-5429-5882)

<sup>3</sup>Yıldız Technical University Faculty of Chemical and Metallurgical Engineering, Department of Food Engineering, Esenler, İstanbul, (ORCID: 0000-0003-0597-283X)

(First received 11 November 2019 and in final form 18 December 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.656768)

**ATIF/REFERENCE:** Atik, İ., Sevik, R. & Karasu, S. (2019). Characterization of Some Physicochemical Properties of Cold Press Sweet Cherry (*Prunus avium*) Seed Oil. *European Journal of Science and Technology*, (17), 959-965.

## Abstract

This study aimed to determine physicochemical properties (PV, FFA, total phenolic content, antioxidant activity), fatty acid, sterol, tocopherol and phenolic compound profile of sweet cherry seed oil. Sweet cherry oil was obtained by cold press process. Tocopherol and phenolic compounds were determined by HPLC and fatty acid and sterol composition were analyzed by GC system. PV and FFA values were found as 1.40 meqO<sub>2</sub>/kg and 2.71 % respectively. Apparent viscosity value was 0.057 Pa.s. TPC and AC values of the sweet cherry oil were determined as 22.17 mg GAE/g of extract and 1.05 mmol TE/g of extract. UFA content was higher than that of the SFA. SFA and UFA levels were 10.53% and 89.47 % respectively. MUFA (37.44 %) level was lower than PUFA level (52.03 %). Oleic acid and linoleic acid were found to be major fatty acids with a ratio of 36.73 % and 39.45 %, respectively. 8 different sterols were analyzed for sweet cherry seed oil.  $\beta$ -sitosterol was found to be the major sterol with a ratio of 88.93 % followed by campesterol (3.12 %),  $\Delta^7$ -stigmasterol (2.48 %),  $\Delta^5$ -avenasterol (2.12 %) and sitostanol (1.42 %). Other sterols showed small amount (<1%). Total four tocopherols namely,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  and  $\delta$  tocopherols were identified for sweet cherry oils.  $\alpha$ -tocopherols (96.72 mg /kg) were found as major tocopherol followed by  $\gamma$ -tocopherols (57.40 mg/kg) and  $\delta$  tocopherols.  $\beta$ -tocopherol showed a small amount. This study suggested that sweet cherry seed oil can be utilized in food industry due to high level of bioactive compounds and low levels of PV and FFA content.

**Keywords:** Cherry seed oil, cold press oil, phenolic profile, sterol composition, tocopherol

## Soğuk Press Kiraz (*Prunus avium*) Tohum Yağının Bazı Fizikokimyasal Özellikleri

### Öz

Bu çalışma kiraz çekirdeği yağının fizikokimyasal özellikleri (PV, FFA, toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite), yağ asidi, sterol, tokoferol ve fenolik bileşen kompozisyonunu belirlenmesini amaçlamıştır. Bu çalışmada kullanılan kiraz çekirdeği yağı soğuk presleme yöntemiyle eld edilmiştir. Kiraz çekirdeği yağının PV ve FFA değerleri sırasıyla 1.40 meqO<sub>2</sub>/kg ve % 2.71 olarak tespit edilmiştir. Kiraz çekirdeği yağının görünür viskozite değeri 0.057 Pa.s olarak tespit edilmiştir. Kiraz çekirdeği yağının TPC ve AC değerleri sırasıyla 22.17 mg GAE/g ekstrakt ve 1.05 mmol TE/g ekstrakt olarak belirlenmiştir. Kiraz çekirdeği yağının doymamış yağ asitleri miktarı doymuş yağ asidi miktarından daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Yağın tekli doymamış yağ asitleri miktarı (% 37.44) çoklu doymamış yağ asitleri miktarından (% 52.03) daha az çıkmıştır. Oleik ve linoleik asit major yağ asitleri olarak tespit edilmiş ve değerleri % 36.73 ve % 39.45 olarak bulunmuştur. 8 farklı bitkisel sterol tanımlanmıştır.  $\beta$ -sitosterol % 88.93 oranıyla en yüksek miktarda tespit edilen steroldür.  $\beta$ -sitosterolden sonra kampesterol (% 3.12),  $\Delta^7$ -stigmasterol (% 2.48),  $\Delta^5$ -avenasterol (% 2.12) ve sitostanol (% 1.42) yüksek miktarda tespit edilen sterollerdir. Diğer steroller az miktarda tespit edilmiştir (< % 1).  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  and  $\delta$  olmak üzere 4 farklı tokoferol kiraz çekirdeği yağının karakterizasyonu için tanımlanmıştır.  $\alpha$ - tokoferol (% 96.72) major olarak

\* Corresponding Author: Afyon Kocatepe University, Afyon Vocational School, Food Quality Control and Analysis Program, Afyonkarahisar Turkey, ORCID: 0000-0001-8049-0465, [ilkeratik@hotmail.com](mailto:ilkeratik@hotmail.com)



tespit edilmiştir.  $\alpha$ -tokoferolü  $\gamma$ -tocopherols (57.40 mg/kg) ve  $\delta$  tocopherols takip etmiştir.  $\beta$ - düşük oranda tespit edilmiştir. Bu çalışma kiraz çekirdeği yağının yüksek biyoaktif madde içermesi ve düşük PV ve FFA değerlerinden dolayı gıda sanayiinde kullanılabileceğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kiraz çekirdeği yağı, soğuk press yağı, fenolik profili, sterol kompozisyonu, tokoferol

## 1. Introduction

Vegetable oils are used in the formulation of many food products due to their nutritional properties and affecting the textural and sensory quality parameters of many products. Some edible oils such as cold-pressed and virgin oils can be directly consumed. In addition to seed oils such as soy, sunflower, cotton and canola, palm and olive oil are among the most commonly used fruit oils (Siano et al., 2016). The need for alternative vegetable oil sources is increasing day by day. Cold pressed oil is produced by a mechanical extraction process. Since solvent extraction and refining processes are not used, cold pressed oil is rich in bioactive compounds. The trend in cold pressed oil consumption has been increased due to their bioactive properties (Al Juhaimi & Özcan, 2018).

Cherry (*Prunus avium*) is a fruit that is widely grown especially in Europe. Cherry fruit is subjected to different processes or directly consumed. After its processing and consumption, its seed is released as a waste(Siano et al., 2016). The seed of cherry fruit is very rich in fat and other bioactive substances. In recent years, seed oils of cherry, have been receiving growing interest due to their high concentration of hydrophilic and lipophilic bioactive components, which have important pharmacological properties on human health. The cherry seed oil has the potential to be utilized in food and other industries and to be added to the economy. This waste could be utilized in several industries due to its rich bioactive material and fat content (Bernardo-Gil, Oneto, Antunes, Rodrigues, & Empis, 2001; Siano et al., 2016).

In an evaluation of the cold-pressed oil fatty acid composition are crucial characteristics affecting both the nutritional and stability of the edible oils. Sterol, tocopherol and phenolic composition are key parameters in evaluating nutritional and medicinal properties of cold pressed oil (Koç et al., 2019).

Some studies were conducted to determine some quality characteristics of cherry and sour cherry seed oil. However, There have been no comprehensive studies related to tocopherol, sterol, phenolic compounds profile of sweet cherry seed oil. The aim of this study is to characterize cold pressed cherry seed oil in terms of physicochemical, fatty acid composition, sterol, tocopherol, and phenolic composition.

## 2. Material and Method

### 2.1. Material

Sweet cherry seed oil were obtained oil by the cold-press extraction process. A cold press (Tokul Ltd. Co, Izmir, Turkey) was used for the extraction of sweet cherry seed oil. The press capacity was 6 kg seed production per hour and nozzles sizes were 5 mm. The temperature was lower than 50 °C to preserve oil quality. After pressing, solid impurities were removed from the oil by filtering through the filter paper. After filtration, oil samples were stored in colored bottles at 4°C for further analyses.

### 2.2. Methods

#### 2.2.1 Physicochemical Analyses of oil samples

The free fatty acidity (FFA) and the peroxide values (PV) of the oils were determined according to the method described by IUPAC 2.201 and 2.50, respectively. The viscosity of the oil sample was determined by a stress and temperature controlled rheometer (Anton Paar, MCR 302, Austria) equipped with a Peltier heating system at 0.5 mm gap level and 25 °C in 100 s<sup>-1</sup> shear rate interval.

#### 2.2.2. Extraction of phenolic compounds

Methanol was used for the extraction of phenolic compounds from the sweet cherry oil. Firstly, 2 mL hexane was mixed with 4 mL oil and 4 mL of methanol was added to the hexane/oil mix. Then, the obtained solution was incubated at room temperature for 1 h in the shaking water bath (Memmert WB-22) for the extraction of the phenolic compounds. After the extraction process, the extracts were centrifuged (Hettich, Universal 320R, Tuttlingen, Germany) at 2,500 g for 10 min and the methanolic phase was taken. This operation was repeated three times to remove the hexane phase.

#### 2.2.3 Total phenolic contents (TPC)

The total phenolic compounds of sweet cherry seed extracts were determined by the Folin-Ciocalteu colorimetric method (Singleton & Rossi, 1965). Initially, 2.5 mL of 0.2 N Folin–Ciocalteu reagent and 2 mL of 7.5% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> were mixed respectively with 0.5 mL of the methanolic extract. This mixture was held for 45 min at room temperature in a dark place. At the end of the incubation time, the absorbance was recorded at 760 nm using a UV-vis spectrophotometer (Shimadzu, UV-1800). The TPC was determined as gallic acid equivalent. TPC was calculated from a calibration curve obtained with gallic acid. Total phenolic was expressed as Gallic acid equivalents (mg GAE/g of extract).

## 2.2.4. DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) radical scavenging activity

The antioxidant capacity (AC) values of methanolic extracts were determined using DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) method according to the method described by Singh, Murthy, and Jayaprakasha (2002). After, 0.1 mL extract and 2 ml methanolic DPPH solution were mixed. The mixture was vigorously shaken and incubated at room temperature for 30 min. The absorbance was recorded at 517 nm by a spectrophotometer (UV-Mini 1240, Shimadzu, Kyoto, Japan). The Trolox equivalent's antioxidant capacity (TEAC) value is expressed as millimole Trolox equivalents per grams of extract of cold press sweet cherry seed oil sample (mmol TE/g of extract).

## 2.2.5. Fatty acid composition

The sweet cherry seed oil samples were methylated using BF<sub>3</sub>-methanol according to AOCS (1990). The fatty acid methyl ester was transferred to gas chromatography (with a capillary column, HP-88, 100m x 0.25mm, film thickness: 0.20 mm) and analyzed by gas chromatography (Agilent 6890N) equipped with a flame-ionization detector (FID). The carrier gas was selected as helium, with a flow rate of 0.5 mL/min. The temperatures of the injector and the detector were adjusted at 250 and 280 °C, respectively. The initial oven temperature of 120 °C was for 10 min, raised to 240 °C at a rate of 5 °C/min. The injection volume was 1 µL. The fatty acid methyl esters of sweet cherry seed oils were identified by comparing the retention time of the samples and appropriate fatty acids methyl esters standards. The percentage of individual fatty acid content, saturated fatty acid (SFA), unsaturated fatty acid (UFA), monounsaturated fatty acid (MUFA) and polyunsaturated fatty acid (PUFA) content are presented.

## 2.2.6. Individual phenolic compounds

Individual phenolic compounds of methanolic extracts were determined by HPLC coupled to a diode array (HPLC-DAD, Shimadzu Corp., Kyoto, Japan). The methanolic extract was filtered through a 0.45-µm membrane filter and 1 mL of the filtered sample was introduced to HPLC system (LC-20AD pump, SPD20A DAD detector, SIL-20A HT autosampler, CTO-10ASVP column oven, DGU-20A5R degasser, and CMB-20A communications bus module; (Shimadzu Corp., Kyoto, Japan). Separations were carried out at 40 °C on a reversed-phase column (Intersil® ODS C-18, GL Sciences, Tokyo, Japan) with a 250 mm × 4.6 mm length, 5 µm particle size. The mobile phases were solvent A (distilled water with 0.1% (v/v) acetic acid) and solvent B (acetonitrile with 0.1% (v/v) acetic acid). A gradient elution were 10% B (0 to 2 min), 10% to 30% B (2 to 27 min), 30% to 90% B (27 to 50 min) and 90% to 100% B (51 to 60 min) and at 63 min returns to initial conditions. The flow rate was 1 mL/min. Chromatograms were taken at 254-356 nm. Identification and quantitative analysis were conducted based on retention times and standard curves. The result of individual phenolics amounts was expressed as mg/kg for fresh and dried samples.

## 2.2.7. Sterol Composition

Before sterol composition following pre-treatment was performed; sterol composition, 0.5 g of oil sample was transferred to a test tube and saponified with 5.0 mL saturated methanolic KOH at 80°C for one h. Then, it was extracted with 5 mL of hexane three times; resulted solution was dried with anhydrous sodium sulfate. A 0.5 mL of dried hexane extract was silylated with solution of 0.1 mL bis (trimethylsilyl) trifluoroacetamide/trimethylchlorosilane (4:1 v/v). After pre-treatment, the sterol composition of the oils was determined using GC equipped with FID. Separation of the sterols was conducted by using CP-SIL 24 CB (60m x 0.32 mm x1.00 µm), and the following method parameters were identified for sterol composition analysis. Working conditions were as follows: carrier gas, helium; flow rate was 0.8 mL/min; injector temperature, 280°C; detector temperature, 300°C; oven temperature program, initial temperature was 50°C for 2 min, increased at 60°C/min to 245°C, held for 1 min and then increased at 3°C/min to 275°C, held for 35 min (Kamm et al., 2002).

## 2.2.8. Tocopherol content

Tocopherol content (mg of α-tocopherol per kg of oil) was determined by the HPLC method of AOAC (2000). The chromatographic separation was carried out using the mobile phase consisted of ethyl acetate: acetic acid: hexane (1:1:98 v/v/v) at a flow of 1.5 mL/min. The fluorescence detector at 290 nm (excitation) and 330 nm (emission) wavelengths were used. The number of tocopherols in the samples was calculated as µg tocopherols in ml oil extract using external calibration curves (0-10 µg ml r<sup>2</sup> = 0.999), which were obtained with the α-tocopherol standard.

# 3. Results and Discussion

## 3.1. Physicochemical analysis

PV, FFA, apparent viscosity, TPC and AC value of the sweet cherry oil were determined. PV and FFA values were found as 1.40 meqO<sub>2</sub>/kg and 2.71 % respectively. Both FFA and PV values were determined within the allowed limit (FAO/WHO, 2015). Apparent viscosity value was 0.057 Pa.s. Apparent viscosity value was similar to other vegetable oil. TPC and AC values of the sweet cherry oil were determined as 22.17 GAE/g of extract and 1.05 mmol TE/g of extract. Sweet cherry oil showed had a low level of PV and

FFA with a high level of TPC and AC and should be utilized as edible oil. TPC and AC value of this study were in conformity with Yılmaz and Gökmen (2013) study.

### 3.2. Fatty acid composition

Table 1 showed the fatty acid composition of sweet cherry seed oil. As can be seen, UFA content was higher than that of the SFA. SFA and UFA levels were 10.47% and 89.53 % respectively. MUFA (40.50 %) level was close to the PUFA level (52.03%). Oleic acid and linoleic acid were found to be major fatty acids with a ratio of 36.73% and 39.45 %, respectively. Bernardo-Gil et al. (2001); Siano et al. (2016) reported similar results. Doğantürk and Seçilmiş Canbay (2019) reported that oleic acid was in the range of 42.625 to 55.265 g/100 g and linoleic acid with 23.276 g/100 g. The oleic acid value was higher than our study. These differences could be due to different extraction techniques. Their study solvent extraction was conducted. Oleic and linoleic acid content was reported as 37.5 % and 40 % in Comes, Farines, Aumelas, and Soulier (1992) study. Linolenic acid content was 12.40 %. Yılmaz and Gökmen (2013) and Bernardo-Gil et al. (2001) reported similar linolenic acid in sour cherry and sweet cherry oil respectively. Their results were comparable with our results. When considering the saturated fatty acid palmitic acid were major fatty acids. Its levels were 6.79 %, respectively. Other fatty acid levels were lower than 1%.

Fatty acid content is considered one of the most crucial criteria affecting the nutritional value and stability of edible oil. Sweet cherry oil showed a higher level of UFA, indicating that it is rich in unsaturated fatty acid and could be shown positive health effects. Among the UFA, linoleic acid showed a higher level following oleic acid. Linoleic acid has lots of bioactive properties, especially for the cardiovascular system. It is an essential component of the cell membrane and arachidonic acid precursor (Boso, Gago, Santiago, Rodríguez-Canas, & Martínez, 2018). The consumption of linoleic acid and oleic acid instead of saturated fatty acid could reduce low-density lipoprotein levels (Vázquez et al., 2018). Oleic acid showed a positive effect on the brain system. Oleic acid /Linoleic acid ratio of the sweet cherry seed oil was closed to 1, indicating that sweet cherry seed oil shows higher stability compared to other oils having higher linoleic acid content. In conclusion, sweet cherry seed oil could be utilized as alternative edible oils with high nutritional value and desire stability (Boso et al., 2018; Koç et al., 2019).

**Table 1.** Fatty acid composition of sweet cherry seed oil

Fatty acid	Con %
Myristic acid (C14:0)	0.03±0.00
Palmitic acid (C16:0)	6.79±0.04
Palmitoleic acid (C16:1)	0.40±0.02
Heptadecanoic acid (C17:0)	0.07±0.01
Stearic acid (C18:0)	2.46±0.01
Oleic acid (C18:1)	36.73±0.98
Linoleic acid (C18:2)	39.45±0.65
Arachidic acid (C20:0)	0.92±0.06
Linolenic acid (C18:3)	0.18±0.02
Eleostearic acid (C18:3)	12.40±0.72
Gadoleic acid (C20:1)	0.31±0.02
Behenic acid (C22:0)	0.20±0.00
Lignoceric acid (C24:0)	0.06±0.00
ΣSFA	10.53±0.12
ΣUFA	89.47±2.41
ΣPUFA	52.03±1.39
ΣMUFA	37.44±1.02

### 3.3. Sterol composition

The percentage of individual sterol distribution was presented in Table 2. 14 different sterols were analyzed for sweet cherry seed oil.  $\beta$ -sitosterol was found to be the major sterol with a ratio of 88.93 % followed by campesterol (3.12%),  $\Delta$ 7-stigmasterol (2.48%),  $\Delta$ 5-avenasterol (2.12%) and sitostanol (1.42%). Other sterols showed a small amount (<1%). In a study of seed oils belonging to different cherry species, it was stated that the amount of sterol varies between 233,6 - 419,4 mg / 100 g oil (Górnaś et al., 2016). In the same study,  $\beta$ -sitosterol was the first among sterol types. It was found that the data obtained from our study showed similarity with the data in this study. Straccia et al. (2012) stated that the amount of  $\beta$ -sitosterol in cherry seed oil was 0.569 g / kg and the amount of campesterol was 0.025 g / kg. These values were much lower than ours'. Bernardo-Gil et al. (2001) reported similar results. In their study,  $\beta$ -sitosterol) was reported to be a major sterol with a percentage level of 83.42 % followed by  $\Delta$ 5-avenasterol, stigmasterol, and campesterol. Sterol showed various positive health effect and trends in consumption of plant sterol have increased. In a similar to various plant sources, sweet cherry oil showed  $\beta$ -sitosterol content as a major level. High  $\beta$ -sitosterol has antimicrobial, antioxidant, immunomodulatory, angiogenic and antidiabetic properties (Bin Sayeed, Karim, Sharmin, & Morshed, 2016). Sweet cherry oil showed higher  $\beta$ -sitosterol content than grape seed oil (Koç et al., 2019) and sour cherry oil (Górnaś et al., 2016b). This study concluded that sweet cherry oil could be considered a good source of  $\beta$ -sitosterol.

**Table 2.** Individual sterol compositions of sweet cherry seed oil

Sterols	Sweet cherry	
	Ppm	%
Cholesterol	5.78±0.02	0.15
Cholestenol	0.00	0.00
Brasikasterol	0.00	0.00
24-methylene-cholesterol	1.42±0.02	0.04
Campesterol	120.10±0.18	3.12
Campestenol	2.86±0.04	0.07
Stigmasterol	4.04±0.10	0.14
$\Delta$ -7-campesterol	3.75±0.04	0.10
Klerosterol	25.78±0.08	0.67
$\beta$ -sitosterol	3424.22±58.88	88.93
Sitostanol	54.66±0.30	1.42
$\Delta$ -5-avenasterol	81.62±0.29	2.12
$\Delta$ -5-24-stigmastadienol	15.89±0.20	0.41
$\Delta$ -7-stigmasterol	95.35±0.43	2.48
$\Delta$ -7-avenasterol	14.87±0.08	0.39
Eritrodiol	0.00	0.00
Uvaol	0.00	0.00
<b>Total sterol</b>	<b>3850.36±60.66</b>	<b>100</b>

### 3.4. Tocopherol and phenolic composition

Tocopherol content was an important criterion affecting the oxidative stability of vegetable oil during storage due to antioxidant properties. Total four tocopherols namely,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  and  $\delta$  tocopherols were identified for sweet cherry oils.  $\alpha$ -tocopherols (96.72 mg /kg) were found as major tocopherol followed by  $\gamma$ -tocopherols (57.40 mg/kg) and  $\delta$ -tocopherols.  $\beta$ -tocopherol showed a small amount. Our results were similar to the tocopherol content of sour cherry oil reported by Yılmaz and Gökmen (2013).

Table 3 showed the individual phenolic composition of sweet cherry seed oil. 14 different phenolic compounds were investigated and 8 of them were identified. Phenolic acids levels were higher than other phenolic compounds. Among the phenolic acid, benzoic acid was major phenolic acids and presented as 58.8 mg/kg. p-hydroxybenzoic acid was the second major phenolic acid and its level higher than 1 mg/kg. Quercetin and vanillin were identified as higher than 1 mg/kg. Other phenolic compounds were found at a very low level. The obtained concentration values were found to be lower than other studies (Nyam et al., 2009, Casazza et al., 2010). In a study that determined phenolics in cherry seeds; 5-caffeoylquinic acid (105.10 µg/g), procyanidine dimer (67.15 µg/g) and elagic acid pentoside (50.09 µg/g) phenolics have been reported (Senica et al., 2015). The values hereby were found to be higher than the data in our study.

**Table 3.** Phenolic composition of sweet cherry seed oil

Phenolics	Sweet cherry
Gallic acid	nd
Catechin	nd
p-hydroxybenzoic acid	1.10±0.01
Syringic acid	nd
Vanillin	1.22±0.01
p-com acid	0.12±0.00
Benzoic acid	58.8±0.81
o-coum	0.05±0.00
Rutin	nd
Cinnamic acid	0.20±0.00
Quercetin	1.05±0.00
Luteolin	nd
Kamferol	nd
Apigenin	0.75±0.03

nd: not detected

## 4. Conclusions and Recommendations

In this study physicochemical properties, fatty acid, sterol, tocopherol and phenolic compounds profile of cold press sweet cherry oil were analyzed. Sweet cherry oil showed low-level PV and FFA and comparable level of TPC and AC. Sweet cherry seed oil is rich in linoleic and oleic acid. It also contained linolenic acid higher than 10 %. Sweet cherry oils showed high level of β-sitosterol, benzoic acid and α-tocopherols. This study suggested that sweet cherry seed oil can be utilized in food industry due to high level of bioactive compounds and low levels of PV and FFA.

## References

- Al Juhaimi, F., & Özcan, M. M. (2018). Effect of cold press and soxhlet extraction systems on fatty acid, tocopherol contents, and phenolic compounds of various grape seed oils. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(1), e13417. doi: 10.1111/jfpp.13417
- Bernardo-Gil, G., Oneto, C., Antunes, P., Rodrigues, M. F., & Empis, J. M. (2001). Extraction of lipids from cherry seed oil using supercritical carbon dioxide. [journal article]. *European Food Research and Technology*, 212(2), 170-174. doi: 10.1007/s002170000228
- Bin Sayeed, M., Karim, S., Sharmin, T., & Morshed, M. (2016). Critical Analysis on Characterization, Systemic Effect, and Therapeutic Potential of Beta-Sitosterol: A Plant-Derived Orphan Phytosterol. *Medicines*, 3(4), 29.
- Boso, S., Gago, P., Santiago, J.-L., Rodríguez-Canas, E., & Martínez, M.-C. (2018). New monovarietal grape seed oils derived from white grape bagasse generated on an industrial scale at a winemaking plant. *LWT*, 92, 388-394. doi: https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.055
- Casazza, A.A., Aliakbarian, B., Mantegna, S., Cravotto, G., & Perego, P. (2010). Extraction of phenolics from *Vitis vinifera* wastes using non-conventional techniques. *Journal of Food Engineering*, 100, 50 -55. doi:10.1016/j.jfoodeng.2010.03.026
- Comes, F., Farines, M., Aumelas, A., & Soulier, J. (1992). Fatty acids and triacylglycerols of cherry seed oil. [journal article]. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 69(12), 1224-1227. doi: 10.1007/bf02637685



- Doğantürk, M., & Seçilmiş Canbay, H. (2019). Oil ratio and fatty acid composition of cherry seed oil.
- Górnaś, P., Rudzińska, M., Raczky, M., Mišina, I., & Segliņa, D. (2016). Impact of cultivar on profile and concentration of lipophilic bioactive compounds in kernel oils recovered from sweet cherry (*Prunus avium* L.) by-products. *Plant Foods for Human Nutrition*, 71, 158-164. doi: <https://doi.org/10.1007/s11130-016-0538-5>
- Górnaś, P., Rudzińska, M., Raczky, M., Mišina, I., Soliven, A., & Segliņa, D. (2016). Composition of bioactive compounds in kernel oils recovered from sour cherry (*Prunus cerasus* L.) by-products: Impact of the cultivar on potential applications. *Industrial Crops and Products*, 82, 44-50. doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.12.010>
- IUPAC, 1992. Standard methods for the analysis of oils, fats and derivatives. 7th ed., Paquot, C. and Hautfenne, A. (Eds.) International Union of Pure and Applied Chemistry, Blackwell Scientific Publications Inc., Oxford, UK
- Kamm, W., Dionisi, F., Fay, L. B., Hischenhuber, C., Schmarr, H. G., & Engel, K. H. (2002). Rapid and simultaneous analysis of 16-O-methylcafestol and sterols as markers for assessment of green coffee bean authenticity by on-line LC-GC. [Article]. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 79(11), 1109-1113. doi: 10.1007/s11746-002-0612-5
- Koç, M., Gecgel, U., Karasu, S., Tırpancı Sivri, G., Apaydın, D., Gülcü, M., & Özcan, M. M. (2019). Valorisation of seeds from different grape varieties for protein, mineral, bioactive compounds content, and oil quality. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 11, 1-10. doi: 10.3920/qas2018.1507
- Nyam, K.L., Tan, C.P., Lai, O.M., Long, K., & Che Man Y.B. (2009). Physicochemical properties and bioactive compounds of selected seed oils. *LWT - Food Science and Technology*, 42, 1396-1403. doi:10.1016/j.lwt.2009.03.006
- Senica, M., Stampar, F., Veberic, R., & Mikulic-Petkovsek, M. (2016). Transition of phenolics and cyanogenic glycosides from apricot and cherry fruit kernels into liqueur. *Food Chemistry*, 203, 483-490. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.110>
- Siano, F., Straccia, M. C., Paolucci, M., Fasulo, G., Boscaino, F., & Volpe, M. G. (2016). Physico-chemical properties and fatty acid composition of pomegranate, cherry and pumpkin seed oils. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(5), 1730-1735. doi: 10.1002/jsfa.7279
- Singh, R. P., Murthy, K. N. C., & Jayaprakasha, G. K. (2002). Studies on the antioxidant activity of pomegranate (*Punica granatum*) peel and seed extracts using in vitro models. [Article]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(1), 81-86. doi: 10.1021/jf010865b
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158.
- Straccia, M.C., Siano, F., Coppola, R., La Cara, F., & Volpe, M.G. (2012). Extraction and characterization of vegetable oils from cherry seed by different extraction processes. *Chemical Engineering Transactions*, 27, 391-396. doi: 10.3303/CET1227066
- Vázquez, L., Corzo-Martínez, M., Arranz-Martínez, P., Barroso, E., Reglero, G., & Torres, C. (2018). Bioactive Lipids. In J.-M. Mérillon & K. G. Ramawat (Eds.), *Bioactive Molecules in Food* (pp. 1-61). Cham: Springer International Publishing.
- Yılmaz, C., & Gökmen, V. (2013). Compositional characteristics of sour cherry kernel and its oil as influenced by different extraction and roasting conditions. *Industrial Crops and Products*, 49, 130-135. doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.04.048>



# Dünya’da ve Türkiye’de Tıbbi Cihaz Sektöründe Pazarlamanın Önemi\*

Menekşe Kılıçarslan<sup>1†</sup>, Binnaz Takkasız<sup>2</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Aydın Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0580-8645)

<sup>2</sup> İstanbul Aydın Üniversitesi, Sağlık Kurumları Yöneticiliği Yüksek Lisans, Biruni Üniversitesi Tıbbi Görüntüleme Teknikleri Programı, İstanbul, Türkiye (ORCID:0000-0002-9981-9184)

(İlk Geliş Tarihi 16 Kasım 2019 ve Kabul Tarihi 19 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.647581)

**ATIF/REFERENCE:** Kılıçarslan, M. & Takkasız, B. (2019). Dünya’da ve Türkiye’de Tıbbi Cihaz Sektöründe Pazarlamanın Önemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 966-971.

## Öz

**Amaç:** Sağlık hizmetlerinde kullanılan teknolojik tıbbi cihazların gelişiminde geçmişten günümüze hızlı bir süreç yaşanmıştır. Tıbbi cihazlarda yaşanan bu teknolojik gelişmeler sağlık alanında kullanılan cihaz çeşitlerindeki sayı artışına ve çeşitliliğe sebebiyet vermiştir. Tıbbi cihazlarda yaşanan bu çeşitlilik tıbbi cihazların pazarlamasında da farklılıkları beraberinde getirmiştir. Dünya ‘da gittikçe artan bir pazar haline gelen sağlık hizmetleri dünya ekonomisini etkileyerek sağlık harcamalarını oluşturmaktadır. Böylece sağlık sektörü tıbbi teknolojik cihazlara çok ihtiyaç duymaktadır. Bu tıbbi cihazların başında ilk basamağı oluşturan tıbbi görüntüleme cihazlarının üretimi gelmektedir. Bu çalışmanın amacı Tıbbi cihaz sektöründe pazarlama kuralları ve tanıtımlarında değişiklikleri incelemek ve ülkemizde yeni başlayıp üretilecek olan Tıbbi Görüntüleme cihazları hakkındaki gelişmeleri inceleyerek bilgi sahibi olmak için yapılmıştır.

**Materyal-Metot:** Dünya Ülkeleri ve Türkiye’de pazarlama kuralları ile ilgili Tıbbi Cihaz yönetmelikleri, kanunlar ve kurallar araştırılıp literatürler incelenmiş ve Ülkemizde yeni başlayıp üretilecek olan yerli tıbbi cihaz teknolojileri ile ilgili bilgiler derlenip, sağlık cihazları üretimi ve satışını yapan büyük firmalardan bilgi alınmıştır.

**Bulgular:** Sağlık hizmetlerinde medikal teknolojik cihazları en çok kullanan ülkelerin gelişmiş olan ülkeler olduğu görülmektedir. Sağlık hizmetlerine ayrılan bütçe payının bunu etkisi altına aldığı düşünülmektedir. Yüksek olan bütçe gelişen ülkelerde görülmektedir. Tıbbi cihazların üretimi cihaz kurumu ve yönetmeliklerine bağlı kalarak pazarlama kuralları geçerli olmaktadır. Reklam yasaklarının bulunması ve kalite standartlarına uygunluktan sonra ilgili personelin eğitimden geçirilmesine kadar tüm basamaklar usulüne uygun yapılması gerektiği öğrenilmiştir. Hızlı bir gelişim yaşanan sağlık hizmetleri sektöründe tıbbi cihaz sektöründe yaşanan gelişmelerin tıp hekimlerine ve ilgili sağlık çalışanlarına tanıtımları yapılabilmek olduğu görülmüş ve bu çerçevede dikkat edilmesi gereken önemli noktalar bulunmuştur.

**Tartışma-Sonuç:** Yapılan incelemelerde, Tıbbi Cihaz sektöründe tanıtım ve pazarlama kurallarına dikkat edilmesi gerektiği, reklam ve yasakların bulunmasının Tıbbi Cihaz sektöründe önemliliği ortaya çıkarmıştır. Tıbbi Cihazların kullanıma uygun bir şekilde üretilmeleri ve uygunluklarının bulunması kalite unsurlarının incelenmesi gibi aşamaları bulunduğu ve üretilen cihazlarda veya yurt dışından alınıp kullanılan tıbbi cihazlarda kalite onayına bakıldığı tespit edilmiştir. Türkiye’de üretim yapan firmaların geliştirdikleri tasarım ve ürün faaliyetleri bulunmuş ve Ülkemizde kendi medikal cihazlarımızı üretime geçişimizin yeni yeni başlaması üretime geçebilmemiz için araştırma ve geliştirme çalışmalarının ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Buna ilk adımlar Tıbbi Görüntüleme cihazlarında yapılmaya başlamasıyla Tıbbi sektör pazarında bulunan firmaların ilerlemesi için desteğe ihtiyaç olduğu sonucunu ve bu destek sayesinde firmaların büyüme kaydedebileceği sonucunu ortaya çıkardığını düşündürmektedir. Bunun sonucunda Ülkemiz gelişimine katkısının son derece önemli olduğu görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Tıbbi Cihaz Sektörü, Tıbbi Görüntüleme Cihazları, Medikal Pazarlama, Medikal Teknoloji, Yerli Üretim

\* Bildiri olarak 04-10 Ekim 2018 tarihlerinde International Conference on Social and Related Sciences (ICsore) kongre de sunulmuştur.

† Sorumlu Yazar: Dr. Öğr. Üyesi, İstanbul Aydın Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0002-0580-8645, [meneksekilicarslan@aydin.edu.tr](mailto:meneksekilicarslan@aydin.edu.tr)

# In the world and in Turkey Importance of Marketing in the Medical Device Industry

## Abstract

**Objective:** In the development of technological medical devices used in health services, there has been a rapid process of the past. These technological developments in medical devices have led to the increase and diversification of the number of devices used in health field. This diversity in medical devices brought about differences in the marketing of medical devices. Healthcare services, which have become a growing market in the world, are creating health spending by influencing the world economy. So the healthcare sector needs a lot of medical technological devices. The first step in medical devices is the production of medical imaging devices. The aim of this study was to examine the changes in marketing rules and promotions in the medical device sector and to have knowledge by examining developments in the Medical Imaging devices which will be produced in our country.

**Material-Method:** World Countries and Medical Device regulations related to the marketing rules in Turkey, examined laws and rules researched the literature and in our country about domestic medical device technology, which will produce a new starting compiled, health equipment has received information from large companies engaged in production and sales.

**Findings:** It is considered that the countries that use medical technological devices most in health services are the developed countries. It is considered that the budget share allocated to health services affects this. It is seen that the high budget is seen in the developing countries. The marketing rules are valid by adhering to the device establishment and regulations of medical devices. and after completing the quality standards and training of the relevant personnel, all steps have to be done properly. It has been seen that the developments experienced in the medical device sector in the health care sector, which is experiencing rapid development, can be promoted to medical doctors and related health professionals, and important points to be considered in this framework are found.

**Discussion-Conclusion:** The examinations reveal the significance of the advertisement and prohibition in the medical device sector in the medical device sector that the promotion and marketing rules should be paid attention in the medical device sector. It is important that the medical devices are produced in accordance with the usage and they are in conformity with the quality standards. devices in the quality approval is viewed, it identified was found design and product activities developed by the manufacturing companies in edilmiştir.türkiye and our country found to occur of its medical devices in our production transition to our new fresh start production to ramp up our research and development work Turkia the first steps Medical began to be made in the medical imaging device the need for the support of the companies in the sector market to progress and the result of b It seems that the contribution of the support to the development of our country is very important as a result.

**Keywords:** Medical Device Sector, Medical Imaging Devices, Medical Marketing, Medical Technology, Domestic Production

## 1. Giriş

Sağlık hizmetlerinde kullanılan teknolojik cihazların gelişiminde geçmişten günümüze hızlı bir süreç yaşanmıştır. Tıbbi cihazlarda yaşanan bu gelişmeler sağlık alanında kullanılan cihaz çeşitlerindeki sayı artışına ve çeşitliliğe sebebiyet vermiştir. Tıbbi cihazlarda yaşanan bu çeşitlilik sağlık hizmetlerinde kullanılan cihazların pazarlamasında da farklılıkları beraberinde getirmiştir. Tıbbi cihaz sektöründe pazarlama kuralları ve tanıtımlarında değişiklikler yapılmıştır.

Bu çalışmanın birinci bölümünde tıbbi cihaz sektörü, tıbbi cihaz tanımı ve önemi ikinci bölümünde tıbbi cihaz uygulamaları, tıbbi cihaz sınıflandırılması ve tıbbi cihaz pazarlaması ile ilgili bilgiler verilecektir. Üçüncü bölümünde ise, Dünyadaki ve Türkiyedeki tıbbi cihaz piyasasının gelişimi, ihracat ve ithalat gelir ve giderleri, yurtdışı komşularıyla olan ticari ilişkileri hakkında araştırma yapılmıştır. Dünya Ülkeleri ve Türkiye’de pazarlama kuralları ile ilgili Tıbbi Cihaz yönetmelikleri, kanunlar ve kurallar araştırılıp literatürler incelenerek yapılmıştır.

## 2. Tıbbi Cihaz Sektörü

Dünyada giderek önemi artan sağlık hizmetleri ciddi bir pazar oluşturmaktadır. Böylece dünya ekonomisini etkileyen sağlık harcamalarını oluşturmaktadır. İyi eğitilmiş ve yüksek özellikleri olan sağlık çalışanlarının bulunduğu sağlık sektörü teknolojik cihazlara da ihtiyaç duymaktadır. Bunun ile birlikte ilk basamağı oluşturan tıbbi cihazlar bulunmaktadır.

Yerli üretim yapan firmalar tıbbi cihaz sektöründe yer almaktadır. Fakat rekabet düşünüldüğünde güçlü firmalarla baş edebilecek durumda olmadıkları görülmektedir. Dünyada Az sayıda firma tarafından üretilen ileri teknolojik özelliğe sahip tıbbi cihazlar bulunmaktadır. Bunların diğer alanları olan elektronik, bilgisayar ve diğer teknolojik sahalarda üretime sahip olmalarından araştırma ve geliştirmeye uygun kaynağı sağladıkları görülmektedir. Böylece arge çalışmalarlarıyla teknolojik medikal cihazlarını geliştirme fırsatı hem de maliyetlerini azaltarak avantaj yaratabilmektedirler. Söz sahibi olan üretici firmaların sayısının az olması piyasada Pazar satlarını etki altına alarak yön verebilmektedir. Büyük firmaların tek elde bulunması sağlık sektöründe yenilik yaparak güçlenen firmaları satın alma isteği rekabet oranını düşürmüştür.

Sağlık hizmetlerinde medikal teknolojik cihazları en çok kullanan ülkelerin gelişmiş olan ülkeler olduğu görülmektedir. Sağlık hizmetlerine ayrılan bütçe payının bunu etkisi altına aldığı düşünülmektedir. Yüksek olan bütçe gelişen ülkelerde görülmektedir. Tıbbi cihazların üretim desteği konusunda Tıbbi sektör pazarında bulunan firmaların ilerlemesi için desteğe ihtiyaç vardır. Bu destek sayesinde

firmalar büyüme kaydeder. Yapılan yenilikler ise sağlık hizmet sektöründe kalite ve verimliliği artırıcı özelliğinin bulunduğu görülür. (Arık ve İleri 2016)

Tıbbi cihaz ve aletlerin kullanımında bilgi ve inovasyon önemlidir. Risklerin ve sonuçların yüksek bulunduğu tıbbi cihaz ve ürünlerinde inovasyoncu yatırımların büyümede önemli etkisi vardır. (Tıbbi Cihaz ve Tıbbi Malzeme Çalışma Grubu Raporu 2014)

Küresel medikal cihaz pazarında Türkiye'nin 2015 -2020 yılları arasında %4.9 büyüme artışı beklenmektedir. Türkiye' de yerli tıbbi cihazların katma değerinin yüksek olması cihaz üretim teşviki için güveni sağlar. Böylece güven artması ile yaygınlaştırılan ve geliştirilen, etkin kaynak kullanımı ile tıbbi cihaz sektör pazarında rekabete de ulaşılmış olur. (Atasever ve Karaca 2017)

TÜBİTAK Vizyon 2023 projesinde temel özellikleri yapısal teknolojik ve ekonomik olanlar gruplandırılmıştır. Büyük ve ilerlemiş firmalar tarafından belirlenen katı kurallar bulunmaktadır (Medikal Sektör).

Sağlık sektöründe bulunan ürünler ikiye ayrılabilir.

Bandaj ve enjektör gibi geleneksel ürün sayılan gelişmiş teknoloji olan nanoteknoloji ve hücre mühendisliği de içinde barındıran bir yelpazedir. (Kiper 2013)

### 1.1. Tıbbi Cihaz Tanımı

Yüzyıllardır gelişen tıbbi cihaz çeşitlerinde zaman ve dönemlere bağlı olarak gelişmeler yaşanmıştır. 2005 yılında tıbbi bir cihazın tanımı geliştirilmiş olup, bu tanımlama 1992'de kurulan "Global Uyumlaştırma Grubuna" aittir. Her alanı kapsadığı içinde Kabul edilme onayı çok daha mümkün kılınmıştır.

Kısaca; Tıbbi cihaz, aşağıdaki bilgileri içermektedir.

- Hastalıkların öntanılarının konulmasında, takip ve tedavi yöntemlerinde
- Kaza ve sakatlık hallerinde, tanılarının konulmasında, takip ve tedavi yöntemlerinde ve önlem almak için veya problemin giderilmesi.
- Anatomi veya fizyolojik bir patolojik durumların tedavi edilmesi yahut başka bir şey yerleştirilmesi,
- Yaşama isteğinin geliştirilmesinin sağlanması,
- Modelin Kontrol ve denetimi,
- Tıbbi cihazın steril ve temizlik kurallarının oluşturulması,
- Teşhis ve tanı hedefi bulunan sağlık verilerine ulaşılması,

### 1.2. Tıbbi Cihaz Önemi

İnsanların geleceğine yön vermelerine yardımcı olan bilgi toplumu teknolojisinin kullanılması insanlar tarafından daha çok kabullenilmeye başlamıştır. Böylece ekonomik gelişmenin odak noktası haline gelmiştir. Fakat insanın artmış olan bu önemine istinaden, bireyin özellikleri de inceleme konusu olmaktadır. Böylece şu anda üzerinde durulan önemli konulardan biri haline gelmektedir. İnsan ilişkilerine bağlı sermaye yaklaşımı böylece bireyin özelliklerinin gelişmesine dikkat çekmektedir.

Bu nedenle bilgi alanında gelişimi sağlayabilmek için, ülkelerin sağlık göstergelerinin ilerlemesi ile daha çok önem kazanmaktadır. (bilgiyönetimi.com)

### 1.3. Tıbbi Cihaz Uygulaması

Ülkeler arasında farklılık gösteren sağlık organizasyon sistem işleyişlerinin ve parasal yönler açısından bakıldığında ve görülen farklılaşmalara rağmen, sistem gelişmesinin sonucu oluşan maliyet artımları tüm sağlık sistemlerinin ortak noktası haline gelmiştir. Hizmet taleplerinde artış görülmüştür. Ve yaşlanmakta olan nüfus ile birlikte kendine has özellikleri olan sağlık hizmetlerinin etkenleri ile medikal alan sektöründe hızlı gelişmelere sebebiyet vermiştir. Böylece harcamalarda artış oluşan medikal sektörü oluşmuştur, oluşan sektörün artan harcama ihtiyaçları sonrasında kaynak problemlerinin olduğu göze çarpmaktadır. Bu sorun ülkelerin çoğunluğunda, sağlık giderlerinin azaltılması ve ihtiyaca uygun kaynak kullanımında önemli unsur oluşturmuştur. Medikal sistemler üzerinde etkili olacak ve verimi sağlayacak kuvvetli önlemler almayı gerektirmiştir. (Ünsal ve Ağırbaş 2011)

Üretenler ve üretilen cihazları piyasaya sunanlar belgelendirme kuruluşlarının sağladığı yetkilerden yararlanabilmekte ve tıbbi cihazları Avrupa ülkelerinde serbest bir şekilde pazarlayabilmek adına kuralların gerektirdiği kanuni dayanaklara sahip olmaktadır (Çevre Yönetimi)

Yönetmelikte tanımlanan işleri yapabilmek için ise Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu yetkilileri tarafından verilen yeterlilik belgesini almak gerekmektedir. (Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu)

- "Her ülkedenin mevzuatı ve her firmanın iletişim faaliyetleri birbirinden farklı olmaktadır.
- Digital ortamda cihazların satışı ile ilgili görsel çalışma reklam çalışmaları yapılamamaktadır.
- Sektör çalışanlarına ve iş iletişim olarak tanıtım ve ürün pazarlama yapılmasına izin verilmektedir.
- Tıbbi Cihaz Tanıtım Yönetmeliği 'ne göre çalışmalar yapılmaktadır.
- E-mailing, broşür, flyer, poster, tanıtım videoları vb. İletişim malzemeleri, Sağlık Sektörü yayınlarına (Medikal News, Medikal Plus vb. dergi/gazeteler) tıbbi içerik, ilan, basın bülteni röportaj vb.

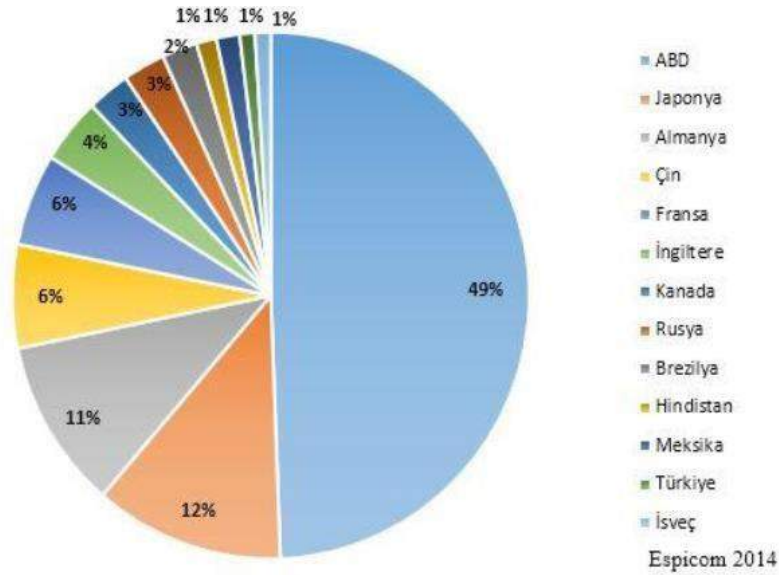
## 2. Dünyada ve Türkiyede Tıbbi Cihaz Sektörünün Konumu

Küresel bağlamda Tıbbi cihaz sektörü önemli bir endüstri haline gelmiştir. Dünyanın nüfusunun artması ve yaşlanması, kronik rahatsızlıkların artması, kötü yaşam koşullarının sebep olduğu hastalıkların yaygınlaşması, bilimsel gelişmeler ve ülkelerin alım güçlerinin artması Tıbbi cihaz sektörünün büyümesinin başlıca sebeplerindedir. Globalleşen dünyamızda bilginin artık bir tık uzakta olması, ülkelerin teknolojik rekabette bir adım öteye geçme arzusu, ihracat rekabetinde el üstünlüğü elde etmek ve o üstünlüğü koruma düşüncesi, yerel sağlık hizmetlerini geliştirilmek istenmesi ve yerelde üretilen tıbbi cihazlar ile sağlık maliyetlerini azaltmak, ve sağlık planlamalarında uygulanan regülasyonlar sağlık kamu hizmetinde ciddi seviyede değişiklikler oluşturmuştur.

Tıbbi cihaz sektöründeki kalkınma ve genişleme, ülkelerin içinde bulunduğu ekonomik güç ve sağlık harcamaları ile doğru orantılıdır. Dünya genelindeki sağlık harcamaları senelere orantılandığında, 2012 senesine göre 2013 yılında %2,8 lik bir artış görülmektedir. Sağlık harcamaları 2014-2018 yılları arasında bölgesel olarak incelendiğinde, Kuzey Amerika'da ortalama %4,9'luk artış öngörülmektedir. Latin Amerika ülkelerinde devletin bütçe ile ilgili kemer sıkma politikasına rağmen %4,6'lık bir artış söz konusu olmaktadır. Asya ülkelerinde ise kamudaki sağlık bakım programlamalarında büyümeye bağlı olarak sağlık ile ilgili harcamalarda %8,1'lik artış, Ortadoğu ve Afrika ülkelerinde ise %8,7 lik bir artış beklenilmektedir (*Türkiye Tıbbi Cihaz Sektörü Strateji Belgesi ve Eylem Planı*).

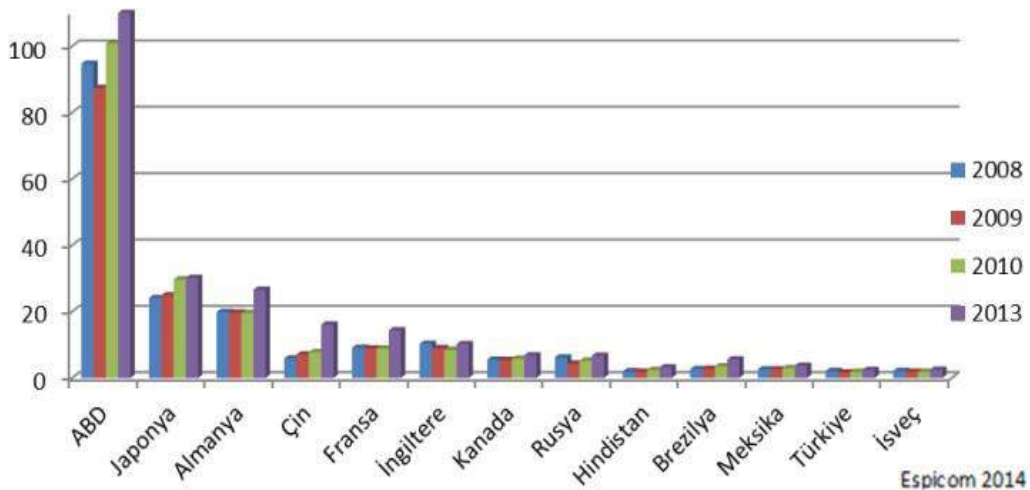
Espicom'un 2014 yılı Pazar araştırma verilerine göre (Şekil A), dünyadaki tıbbi cihaz market payının %49'unu ABD, %12'sini Japonya, %11 ini ise Almanya oluşturmaktadır. Türkiye ise %1 pazar payına sahiptir.

Şekil 1. Ülkelere Göre Dünya Tıbbi Cihaz Pazar Payları



Şekil 2 de ise 2008,2009,2010 ve 2013 senelerine ait ülkelere göre tıbbi cihaz market hacmi verileri yer almaktadır. Bu verilere göre 2013 senesinde ABD 125.4 Milyar dolar market büyüklüğüne sahipken, akabinde Japonya 30.2 milyar dolar ile takip etmekte, ve Almanya ise 26.6 milyar dolar ile üçüncü sırada yer almaktadır.

Şekil 2. Ülkelere Göre Dünya Tıbbi Cihaz Pazar Büyüklüğü(Milyar Dolar)





Şekil 2 de görüldüğü gibi, Türkiye 2010 senesinde 1.9 milyar dolar ile market hacmi sıralamasında 19. Sırada olmasına rağmen 2013 senesinde 2.4 milyar dolar ile 21. Sıraya gerildiği gözlemlenmektedir. Bu gerilemede, diğer ülkelerin Ar-Ge ye verdiği önem, yatırım öncelikleri gibi unsurlar göz önünde bulundurulabilir. Ekonomik düzenlemeler ve öncelik ataması, ülkelerin Tıbbi cihaz endüstrisinde ilerleme kaydetmelerinin en önemli etkenlerindedir.

Sağlık sektöründe hastanın ve kullanıcının güvenliğini maksimum seviyeye çıkarmak adına belirlenmiş kurallar vardır. Örneğin Avrupa Birliğinin koyduğu düzenlemelere (93/42/EEC,98/79/EC, 90/385/EEC) Türkiye gibi aday ülkelerinde kendi mevzuatlarını bu düzenlemelere göre şekillendirmektedir. (*Türkiye Tıbbi Cihaz Sektörü Strateji Belgesi ve Eylem Planı*)

## **2.1. Amerikada Tıbbi Cihaz Sektörü**

Amerika Birleşik Devletleri, tıbbi cihaz üretiminde lider konumundadır. 2014 yılının Espicom verilerine göre, ABD'nin 2019'un sonunda tıbbi cihaz üretiminde toplamda %5'lik bir büyüme yaşaması öngörülmektedir. Yalnızca üretimde değil, iş olanakları hususunda da Amerika Birleşik Devletleri büyük olanaklar sağlamaktadır. Doğrudan 400 bin, dolaylı yoldan ise 2 milyon vatadaşına iş imkanı sağlamaktadır. (*Türkiye Tıbbi Cihaz Sektörü Strateji Belgesi ve Eylem Planı*)

ABD'nin tıbbi cihaz ihracatında büyümesi 2009'dan bu yana seyir gelmektedir. Dolar'ın yen ve euroya karşı değer kazanacağına ön görülmesiyle beraber, ABD'nin satıl alma gücünün artacağı düşünülmektedir. Dünyada tıbbi cihaz teknoloji firmalarında çalışmakta olan toplam işgücü %60'dan fazlasına iş imkanı sağlamaktadır. Ar-Ge faaliyetlerinin %70'ini de ABD sağlamaktadır., (*Türkiye Tıbbi Cihaz Sektörü Strateji Belgesi ve Eylem Planı*)

## **2.2. Brezilyada Tıbbi Cihaz Sektörü**

2010 yılındaki verilere göre Brezilya, 195 milyon nüfuslu, gelir sıralamasında ortanın üstü bir ülkedir. Yaşam kalitesine bakıldığında istikrarlı ve sürekli olarak yükselmektedir. 2011 yılında tıp teknolojisi ithalatı toplam 2 milyon 600 bin dolardır. (*Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı, 2013*)

2011 yılında ithalatta yaklaşık %8,1 artış görülmüştür. Büyük çoğunlukla, ülkede üretimi olmayan, üretime elverişli olmayan ürünler ithal edilmiştir. (G.A. Yılmaz 2015)

## **2.3. Japonyada Tıbbi Cihaz Sektörü**

Amerika ve Çin dünya ekonomisinin liderleridir, onları ise Japonya takip etmektedir. Japonya'nın tıbbi cihaz pazarı, Amerikadan sonra en büyük ikinci pazardır. Kişi başına düşen Gayri Safi Yurtiçi Hasıla'da en yüksek on ülkeden biridir. 2006 yılında Japonya, GSMH'dan sağlığa % 18 oranında pay ayırmıştır. (*Makine Mühendisleri Odası 2007*)

Dünyadaki en büyük 10 tıbbi teçhizat üretenleri arasında Japonyada yer almaktadır. Tıbbi cihaz ithalayından Amerika ve Almanyadan sonra üçüncü olan Japonya, ihracatta ise en büyük sekizinci ihracatçı sırasında yer almaktadır. (*Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı, 2013; Espicom, 2014*).

## **2.4. Türkiyedeki Tıbbi Cihaz Pazarı**

Türkiye'ye baktığımız zaman tıbbi cihazlar ve alt sektörleri; 1.087 adet üretici firma, 1.841 adet ithalatçı firma, 387 adet üretici ve ithalatçı firma olmak üzere toplam 3.315 adet firma ve 44.667 bayii yer almaktadır (G.A. Yılmaz 2016).

Türkiye, Pazar payı, tıbbi cihaz firmalarının sayısı ve üretim kapasitesi bakımından sürekli bir büyüme içinde olan ve büyük bir potansiyele sahip bir ülkedir. Tıptaki teknolojiler incelendiğinde Türkiye, gerekli olan üretim ve Ar-Ge sistemini henüz kuramamıştır. Fakat, son zamanlarda önemli yasal ve kurumsal ilerlemeler kaydedilmiştir. Geleneksel üretimin yanısıra, yapılan bazı yatırımlar ile beraber az da olsa ileri teknoloji sanayi ürünleri üretiminde başlanmıştır. Sonuç olarak ülkemizdeki üretimin Ar-Ge yerine montaja dayalı ve düşük teknolojik içerilik ürünler olduğu görülmektedir.

Tıp teknolojisi (tıbbi cihaz) sektörünün en benzersiz özelliği, pazardaki hareketlenmeleri önceden tahmin edebilir şekilde müşterinin tutumuna ve mantıklı spekülasyonlara dayanmasıdır. Buna istinaden, pazarın eğilimleri kamu politikalarıyla direkt ilişkilidir. (*Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı, 2013*) 179,7 milyar dolar ile 2005 senesini kapatan tıbbi cihazlar pazarı, 2005-2010 döneminde yüzde 7,5 oranında ortalama bir büyüme göstererek 258,4 milyar dolara yükselmiştir. 2011 yılında Türkiye Tıbbi Cihaz pazarında 2 milyar ABD Dolarına erişmiştir. (*Tıbbi Cihazlar Sektörü Sağlıklı Büyüyor 2013*)

## **2.5. Türkiye Pazarında İhracat Durumu**

Türkiye'nin tıbbi teçhizat ithal ettiği ülkelerin başında %12,5 ile Almanya, takiben %10 ile Azerbaycan, %7,4 ile Fransa, %4,1 ile Irak ve %4,1 ile İtalya yer almaktadır. Dünyada yaşanmış olan küresel ekonomik krizden Sektör bazında dünyaya göre Türkiye daha az hissetmiştir. Sektör ihracatının 2007-2011 dönemleri içerisinde yaklaşık %63 artış 2010 ve 2011 senelerinde Türkiye tıp teknolojisi ihracatında %13 ve %26 gibi önemli artışların gerçekleştiği görülmektedir. (*Tıbbi Cihazlar Sektörü Sağlıklı Büyüyor 2013*)

Türkiye'ye komşu ülkeler, tıp teknolojisi ihracatında Pazar açısından ikinci önemli grubu oluşturmaktadır.

## **2.6. Türkiye Pazarında İthalat Durumu**

Tıbbi teçhizat sektörü ithalat rakamları incelendiğinde,1,8 milyar dolar olan Türkiye ithalatı 2011 yılında 2.3 milyar rakamına ulaştığı görülmektedir. (*Samsun Medikal Sanayi Sektörünün Mevcut Durum Analizi 2012*)

ABD 365,4 milyon dolar (% 25,1) ile Türkiye için tıp sanayisi sektöründe lider tedarikçidir. 2009 senesinde ortopedik ve protez ürünlerinin % 35,6'sı Amerika'dan tedarik edilmiştir. Türkiye'nin diğer cihaz ve alet ithal ettiği devletler sırasıyla Almanya (% 19,9), Çin (% 8,0), Japonya (% 5,8) ve İtalya (% 5,1)'dir. Avrupa (% 43,9)'dan yapılan ithalat tutarı ise toplam 638.6milyon dolar olmuştur. (Samsun Medikal Sanayi Sektörünün Mevcut Durum Analizi 2012)

2007-2011 seneleri arasında Türkiye'nin tıbbi cihazları ithal ettiği ilk beş devlet sırasıyla; ABD, Almanya, Çin, İtalya ve Japonya olarak sıralanmaktadır (G.A. Yılmaz 2016). Sektör bazında ithalat ortalamasına bakılacak olursa; ortalama olarak yıllık artışın olduğu ülke üçüncü sırada yer alan Çin'in hem oran hem de değer bakımından yüksek düzeyde arttığı görülürken, Singapur'dan yapılan ithalatın 2010 yılına göre 2011 yılında %71 oranında artış göstermiştir (Ankara Kalkınma Ajansı 2013).

### 3. Sonuç ve Değerlendirme

Hızlı bir gelişim yaşanan sağlık hizmetleri sektöründe tıbbi cihaz sektöründe yaşanan gelişmelerin tıp hekimlerine ve ilgili sağlık çalışanlarına tanıtımları yapılabilmektedir. Tıbbi cihaz kurumu ve yönetmeliklerine bağlı kalarak pazarlama kuralları geçerli olmaktadır. Reklam yasalarının bulunması ve kalite standartlarına uygunluktan sonra ilgili personelin eğitimden geçirilmesine kadar tüm basamaklar usulüne uygun yapılması gerektiği öğrenilmiştir.

Bunun yanında, dünyadaki tıbbi cihaz sektörü hakkında bilgi edinilmiş, istatistik veriler güvenilir kaynaklardan araştırılmıştır. Ülkemizin dünya çapında tıbbi cihaz ticareti üzerine kurmuş olduğu ticari ilişkiler araştırılmış ve öğrenilmiştir. Yalnızca ticari değil, tıbbi cihaz sektörünün oluşturduğu istihdamı olanaklarda gözlemlenmiştir. Spesifik istatistik numaralar ile Türkiye'nin yurtdışı ile olan tıbbi cihaz ticaretine dayalı araştırma sonuçları incelenip, ülkemizin ticari ilişkileri konusunda bilgi edinilmiştir. Ülkemizde kendi medikal cihazlarımızı üretime geçişimizin yeni yeni başlaması üretime geçebilmemiz için araştırma ve geliştirme çalışmalarının ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Bunun sonucunda Ülkemiz gelişimine katkısının son derece önemli olduğu görülmektedir.

### Kaynakça

- Aksoy, E. *Türkiye Tıbbi Cihaz Sektörünün Ürün Geliştirme ve Tasarım Kapasitesinin Örnek Olay Çalışmaları İle Araştırılması*, (2006). <https://polen.itu.edu.tr/handle/11527/901>.
- Ankara Biyoteknoloji ve Medikal İhracatı Geliştirme (2014). *UR-GE Projesi İhtiyaç Analizi*. [http://www.aso.org.tr/wpcontent/uploads/2017/09/ASO\\_Medikal\\_URGE\\_ ihtiyac\\_Analiz\\_Raporu\\_13.04.2014-1.pdf](http://www.aso.org.tr/wpcontent/uploads/2017/09/ASO_Medikal_URGE_ ihtiyac_Analiz_Raporu_13.04.2014-1.pdf)
- Ankara Kalkınma Ajansı Faaliyet Raporu*. (n.d), <http://www.ankaraka.org.tr/archive/files/yayinlar/faaliyet-raporu-2013.pdf>
- Arık, Ö., İleri, Y.Y. ve Kaya, B. (2016). Sağlık hizmetlerinde tıbbi cihaz sektörü. *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi*, 19(2), 187-202.
- Atasever, M. ve Karaca, Z. (2017). *Türkiye Tıbbi Cihaz Sektör Analizi*. M. Atasever, (Ed.)
- Dünyada ve Türkiye'de Tıbbi Cihaz Sektörü ve Strateji Önerisi*. (2013). Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı.
- Ekici, S.K. ve Gümüş, Ö. (2016). Yaşlılıkta teknolojinin kullanımı. *Ege Tıp Derg.* 55, doi:10.19161/etd.344199.
- Ertuğrul, E. (2013). *Ankara Tıbbi Cihazlar Sektör Analizi*. Retrieved from <http://www.ankaraka.org.tr/archive/files/yayinlar/ankara-tibbi-cihaz-analiz.pdf>
- Ertuğrul, E. et al. (2013). *TR72 Bölgesi (Kayseri, Sivas, Yozgat) Sağlık Sektörüne Yönelik İmalat Sanayi Raporu*. Türkiye Kalkınma Bankası A.Ş. Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Müdürlüğü.
- Espicom. (2014). *The Medical Device Market: Brazil*.
- Espicom. (2014). *The Medical Device Market: Japan*. <http://www.aso.org.tr/wp-content/uploads/2017/09/2.pdf>. (n.d.). Medikal Sektör.
- İGEME (2008, 2010). *Medikal Aletler ve Cihazlar*, Yusuf Türkoğlu. Deloitte (2010). *Türkiye'de Sağlık Sektörü Raporu*, T.C. Başbakanlık Yatırım Destek ve Tanıtım Ajansı.
- KİPER, M. (Ed.). (2013). *Dünyada ve Türkiye'de Tıbbi Cihaz Sektörü ve Strateji Önerisi*. <http://www.seis.org.tr/docs/daha-cok-uretmeliyiz/tibbi-cihaz-sektoru-strateji-onerisi.pdf>
- Samsun Medikal Sanayi Sektörünün Mevcut Durum Analizi ve Medikal Sanayi Sektörü İhtisas Organize Sanayi Bölgesi Fizibilite Raporu*. (2012). Orta Karadeniz Kalkınma Ajansı (OKA). Retrieved from <http://www.oka.org.tr/Documents/MedikalMDA.pdf>
- Siemens Sağlık Akademi*. (n.d.). <https://www.healthcare.siemens.com.tr/education/saglik-akademi>
- Tıbbi Cihaz Nedir?*, (n.d.). [http://www.kobay.com.tr/s/42-tibbi\\_cihaz\\_nedir\\_.html](http://www.kobay.com.tr/s/42-tibbi_cihaz_nedir_.html).
- Tıbbi Cihaz Satış, Reklam ve Tanıtım Yönetmeliği'nin Uygulanmasına İlişkin Kılavuz*. (n.d.). <https://www.titck.gov.tr/PortalAdmin/Uploads/UnitPageAttachment/WwaJ2Nze.pdf>.
- Tıbbi Cihaz ve Tıbbi Malzeme Çalışma Grubu Raporu*. (2014). 2018, from <http://www.seis.org.tr/docs/daha-cok-uretmeliyiz/kalkinma-plani/tibbi-cihaz-ve-tibbi-malzeme-calisma-grubu-raporu.pdf>
- Tıbbi Cihazlar Sektörü Sağlıklı Büyüyor. (2013). *Momend-Expo*, 62.
- Tıbbi ve Medikal Aletler Sektör Raporu. (2012). *Batı Karadeniz Kalkınma Ajansı*. <https://www.baka.org.tr/uploads/1357649606TiBBi-VE-MEDİKAL-ALETLER-SEKTOR-RAPORU-5ARALiK.pdf>.
- TOBB (2008). *Tıbbi Cihaz Sektör Raporu*, Ayhan Koçak.
- Türkiye "Bir Cihaz Hurdalığına" Dönüştü. (2007). *Makine Mühendisleri Odası*, 574(48).
- Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu*, (n.d.). <http://www.titck.gov.tr/Denetim/UTS>.
- Türkiye Tıbbi Cihaz Sektörü Strateji Belgesi ve Eylem Planı (2017-2021)*
- Ünsal, E., ve Ağırbaş, İ. (2011). *Tıbbi Cihaz Yatırım Kararlarının Analitik Hiyerarşi Yöntemi ile Değerlendirilmesi*. doi:10.1501/Tıpfak\_000000778
- Yılmaz, G.A. (2015). *Ankara'da Faaliyet Gösteren Tıbbi Cihaz Firmalarının Sağlık Uygulama Tebliği (Süt) Hakkındaki Görüşleri*.



# Fonksiyonel Derecelendirilmiş TiB<sub>2</sub>/Al Kompozitlerin Abrasif Aşınma Davranışları Üzerine Deneysel Bir Çalışma

Ömer Savaş<sup>1\*</sup>, Ömer Faruk Demirok<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Türkiye, osavas@yildiz.edu.tr, (ORCID: 0000-0001-7454-1457)

<sup>2</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, farukdemirok@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 19 Kasım 2019 ve Kabul Tarihi 19 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.648682)

**ATIF/REFERENCE:** Savaş, Ö. & Demirok, Ö.F. (2019). Fonksiyonel Derecelendirilmiş TiB<sub>2</sub>/Al Kompozitlerin Abrasif Aşınma Davranışları Üzerine Deneysel Bir Çalışma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 972-981.

## Öz

Bu çalışma, Fonksiyonel derecelendirilmiş TiB<sub>2</sub> takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin üretimi ve abrasif aşınma özelliklerinin araştırılmasına yöneliktir. Kompozitlerin üretiminde, takviye fazının oluşturulması in-situ tekniği ile yapılmış ve kompozitlerin nihai şekillerinin verilmesi ve fonksiyonel olarak derecelendirilmesi savurma döküm tekniği ile yapılmıştır. Üretilen kompozitlerin özelliklerinin araştırılmasında optik, SEM, XRD, sertlik ve abrasif aşınma testleri kullanılmıştır. Çalışmada abrasif aşınma testleri üç farklı yük (1, 2 ve 3 N), üç farklı hız (1.5, 3.5 ve 5.5 m/s) ve 100 m kayma mesafesinde 350 grid zımpara kağıdı altında yapılmıştır.

Yapılan testler sonucunda üretilen kompozitlerin TiB<sub>2</sub>'ce zengin ve fakir iki farklı bölgeye sahip olduğu görülmüştür. TiB<sub>2</sub>'ce zengin bölgelerin abrasif aşınma özelliklerinin TiB<sub>2</sub>'ce fakir bölgelere göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Abrasif aşınma; Fonksiyonel derecelendirilmiş malzeme, in-situ TiB<sub>2</sub>.

## An Experimental Study on Abrasive Wear Behavior of Functionally Graded TiB<sub>2</sub>/Al Composites

### Abstract

In this study, it is aimed to produce functionally graded TiB<sub>2</sub> reinforced aluminum matrix composites (FG TiB<sub>2</sub>/Al) materials and to investigate abrasive wear properties. In the production of composites, the reinforcement phase was formed by in-situ technique and the final shapes and functional grading of the composites were done by centrifugal casting technique. Optical, SEM, XRD, hardness and abrasive wear tests were used to investigate the properties of the composites. In this study, abrasive wear tests were performed under three different loads (1, 2 and 3 N), three different speeds (1.5, 3.5 and 5.5 m / s) and 350 grit sandpaper at 100 m distance.

As a result of the tests, it was found that the composites had two different regions which are TiB<sub>2</sub>-rich and TiB<sub>2</sub>-poor. Abrasive wear properties of TiB<sub>2</sub>-rich regions were found to be better than TiB<sub>2</sub>-poor regions.

**Keywords:** Abrasive wear, Functionally graded materials, In situ TiB<sub>2</sub>.

\* Sorumlu Yazar: Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Gemi Makineleri İşletme Müh. Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0001-7454-1457, [osavas@yildiz.edu.tr](mailto:osavas@yildiz.edu.tr)

## 1. Giriş

Mevcut monolitik alaşımlarının her ne kadar alaşımlama, ısıl işlem gibi çeşitli mukavemet artırıcı mekanizmalar ile mukavemetleri artırılrsa da yine de yüksek spesifik özellikleri sergileyememektedir. Son 20 yılda yapılan araştırmalarda bu problemi aşmak amacı ile yapılan çalışmaların çoğunluğu kompozitler üzerine olmuştur. (Miracle, 2005)(Rosso, 2006)(Tjong & Ma, 2000).

Yapılan literatür çalışmalarında artan takviye oranına bağlı olarak üretilen kompozit malzemelerin elastik modülleri, mukavemetleri ve aşınma direncinin arttığı görülmektedir. Ancak artan takviye oranı ile birlikte kompozitin gevrekleştiği ve kırılma tokluğu önemli oranda düşürdüğü görülmektedir. Kırılma tokluğunun düşük olması özellikle tekrarlı yüklere maruz kalan makine parçalarının kullanım ömrünü önemli oranda düşürdüğü görülmektedir. Hem kırılma tokluğunun ve hem de aşınma direncinin artırılması fonksiyonel derecelendirilmiş kompozit malzemelerle sağlanabilmektedir (Naebe & Shirvanimoghaddam, 2016)(Singh et al., 2017)(Rajan & Pai, 2011). Fonksiyonel derecelendirilmiş kompozit malzemelerde, takviye oranı kalıp dış cidarından içeriye doğru fonksiyonel olarak artma veya azalmaktadır. Bu durumda kompozitin özelliklerinin makro ölçüde değişimine neden olmaktadır(Watanabe, Zhou, Sato, Fujii, & Inamura, 2017)(Niu, Zhang, & Yang, 2012). Yani takviye oranı yüksek olan kısımlarda aşınma direnci yüksek olurken takviye oranının düşük olduğu kısımlarda ise kırılma tokluğunun yüksek olduğu görülür.

Önceki çalışmada in-situ TiB<sub>2</sub> partiküllerinin oluşturulmasında Al-Ti-B sistemlerinin kullanıldığı belirtilmiştir (Tjong & Ma, 2000). Birçok çalışmada Al-Ti-B sisteminin oluşturulmasında K<sub>2</sub>TiF<sub>6</sub> and K<sub>B</sub>F<sub>4</sub> tuzları ve alüminyum alaşımlarının dökümünde tane inceltici olarak kullanılan Al-B ve Al-Ti mastır alaşımının da kullanıldığı rapor edilmiştir (Tee, Lu, & Lai, 1999)(Lu, La, & Chen, 1997)(Lai, Su, Teo, & Feng, 2001)(Tee, Lu, & Lai, 2010)(Zhang et al., 2017)(Gao et al., 2017)(Auradi & Kori, 2008; Ding, Xia, & Zhao, 2014; Fan et al., 2015).

S. Sasikumar (Sasikumar, Ramkumar, Iniyan, Gowthaman, & Sivasankaran, 2014) ve arkadaşları yaptıkları çalışmada alüminyum matrise ağırlıkça %3 TiB<sub>2</sub> ilavesi ile sertlik değeri 180 RHA'dan 210 RHA'ya yükseldiğini rapor etmişlerdir. K. L. Tee (Tee et al., 2010) arkadaşları alüminyum matrise % 15 TiB<sub>2</sub> ilavesi ile çekme gerilmesinin %56,5, akma gerilmesinin %65,7 ve elastik modülün % 21,5 oranında artırdığını rapor etmişlerdir. K. Krishnamurthy (Krishnamurthy, Ashebre, Venkatesh, & Suresha, 2017) ve arkadaşları ise 6063 alüminyum alaşımına TiB<sub>2</sub> ilavesi ile spesifik aşınma hızının azaldığını göstermişlerdir. Kumar (Kumar, Sarma, & Murty, 2007) ve arkadaşları Al-5Cu matrise TiB<sub>2</sub> ilavesi ile abrasif aşınma direncinin iyileştiğini belirtmişlerdir. A. Sreenivasan (Sreenivasan, Vizhianb, Shivakumar, Munirajua, & Raguramand, 2011) arkadaşları ile 6061 alaşımına %15 TiB<sub>2</sub> ilavesiyle aşınma hızının önemli oranda azaldığını rapor etmişlerdir.

S. Kumar (Kumar, Subramaniya Sarma, & Murty, 2010) and M. F. Forster (Forster, Hamilton, Dashwood, & Lee, 2003) ve arkadaşları TiB<sub>2</sub> partikül takviyeli fonksiyonel derecelendirilmiş alüminyum matrisli kompozitleri savurma döküm yöntemi ile ürettiklerini rapor etmişlerdir. Yapılan çalışmalarda takviye oranının savurma yönünde değiştiği ve kompozitlerin özelliklerinin yöne bağlı olarak değiştiğini belirtmişlerdir.

Bu çalışmada amacımız fonksiyonel derecelendirilmiş TiB<sub>2</sub> takviyeli alüminyum matrisli kompozit malzemelerin üretimi ve abrasif aşınma özelliklerinin incelenmesine yöneliktir. Çalışmada kompozit üretiminin ilk aşamasında TiB<sub>2</sub> takviye fazlarının, in-situ (yerinde reaksiyon) tekniği kullanılarak sıvı alüminyum içerisinde kendiliğinde oluşturulması sağlanacak ve üretimin son aşamada ise savurma döküm tekniği ile kompozitler kalıp dış cidarından içeriye doğru fonksiyonel olarak derecelendirilmesi sağlanacaktır. Kompozitlerin abrasif aşınma özellikleri pin-on-disk yöntemi kullanılacak ve sonuçlar aynı şartlarda aşınma testine tabi tutulmuş AISI 1020 çeliği ile kıyaslanacaktır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Kompozitlerin Üretimi ve Karakterizasyonu

Yapılan çalışmada kompozitlerin üretimini iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada in-situ TiB<sub>2</sub> borür yapılarının oluşturulması ve ikinci aşamada, savurma döküm tekniği kullanılarak fonksiyonel derecelendirilmiş kompozitlere nihai şekillerinin verilmesidir.

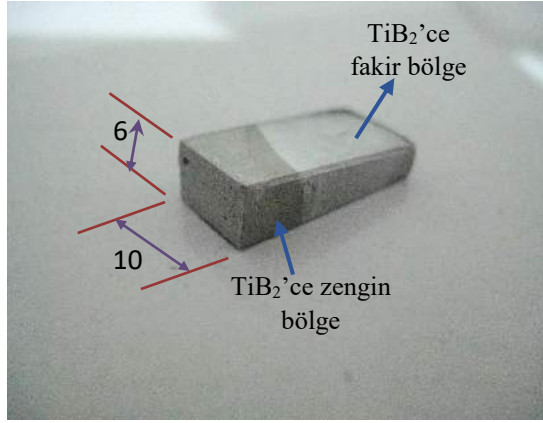
İn-situ TiB<sub>2</sub> borür yapılarının sentezlenmesinde Al-T-B sistemi kullanılmıştır. Sistemin oluşturulmasında Ti ve B verici olarak alüminyum alaşımların dökümünde kullanılan ticari Al-10Ti ve Al-2B mastır alaşımları seçilmiştir. 1200 °C'de ağırlıkça %3 ve %1,3 sırası ile B ve Ti içerecek şekilde Al-Ti-B çözeltisi hazırlanmıştır ve bu sıcaklıkta bir saat beklenmesinin ardından TiB<sub>2</sub> borür yapılarının sıvı alüminyum içerisinde çekirdeklenmesi ve büyümesi için 900 °C'de 30 dakika beklenmiştir. Bu sıcaklıkta matris çeşitliliği sağlamak amacı ile bazı çözeltiler %99,99 safiyete sahip bakır çubuklar kullanılarak çözelti %5 oranında bakır ile alaşımlanmıştır. Dökümlerde kullanılan potaların sıvı alüminyumla reaksiyona girmemesi için bütün kalıplar alkol esaslı sprey bor nitrit ile kaplanmıştır.

Fonksiyonel derecelendirilmiş kompozitlerin nihai şeklinin verilmesi amacı ile 900 °C'de hazırlanmış 150 gr'lık (Al<sub>(sıvı)</sub>+TiB<sub>2(katı)</sub>) çözelti başka bir pota içerisine alınarak 1500 rpm dönme hızında 2 dakika savurma işlemine maruz bırakılarak havada katılaştırılmıştır.

Mikro yapısal analiz için Clemex Vision görüntü analiz sistemi ile donatılmış bir Olympus optik mikroskop kullanılmıştır. Kompozitlerin takviye oranları yoğunluk değişimine göre teorik olarak hesaplanmıştır. Yoğunluk testleri Arşimet yöntemi ile yapılmıştır.

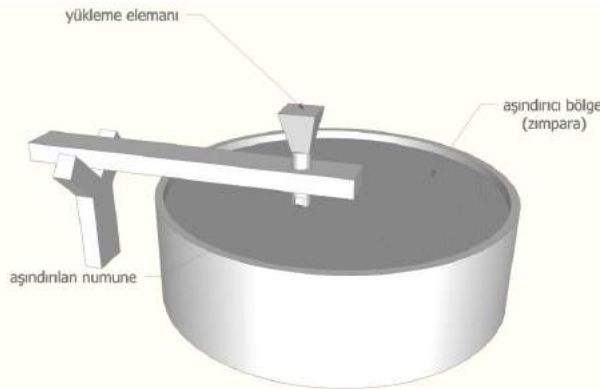
## 2.2. Aşınma Testleri

Aşınma testleri amacı ile fonksiyonel derecelendirilmiş kompozit malzemeden alınan aşınma test numune görüntüsü ve ölçüleri Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Aşınma Test Numunesi

Kompozit malzemelerin aşınma testlerinde abrasif aşınma yöntemi ve Pin-On-Disk sistemi kullanılmıştır. Abrasif aşınma testleri için kullanılan temsili Pin-On-Disk düzeneği Şekil 2’te görülmektedir.



Şekil 2. Abrasif aşınma için kurulan düzeneğin temsili görüntüsü

Aşınma testlerinde aşındırıcı olarak 320 grid’lik zımpara kâğıtları seçilmiş ve testler 1 N, 2 N ve 3 N altında, 1,5 m/sn, 3,5 m/sn ve 5,5 m/sn kayma hızlarında ve 100 metre kayma mesafede gerçekleştirilmiştir. Üretilen kompozitlerin aşınma performanslarının kıyaslanması amacı ile AISI 1040 çeliği de aynı ölçülerde hazırlanmış ve aynı şartlarda abrasif aşınma testin tabi tutulmuştur. Abrasif aşınma test parametreleri Tablo 1’de görülmektedir.

Tablo 1. Abrasif aşınma test parametreleri

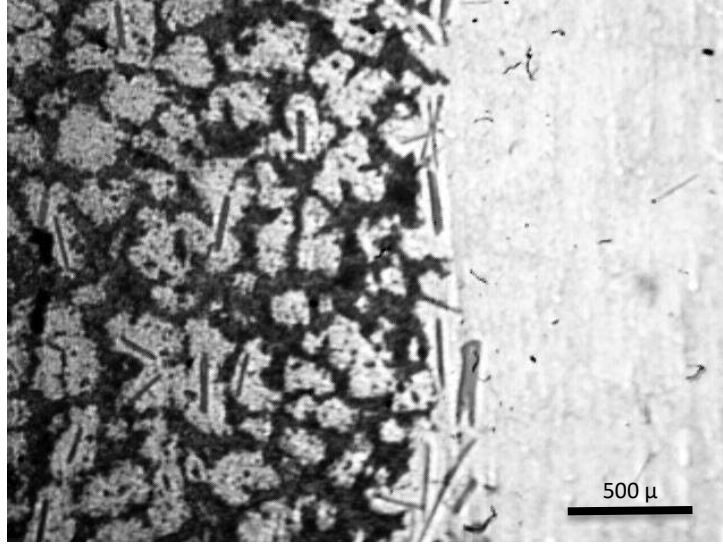
Deney parametreleri	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Yük, N	1	2	3
Hız, m/s	1,5	3,5	5,5
Zımpara, grid	320		
Yol, m	100		

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Savurma işlemi sonrasında saf Al ve Al-Cu Martisli TiB<sub>2</sub> partikül takviyeli iki tip fonksiyonel derecelendirilmiş kompozit malzeme üretilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin TiB<sub>2</sub> ile güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş iki farklı bölgeye sahip



olduğu görülmüştür. Şekil 3’de üretilen Kompozitlerin  $TiB_2$  ile güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş ara bölgenin mikro yapı görüntüsü verilmiştir. Şekilde  $TiB_2$ ’ce zengin bölgelerde ağ şeklinde siyah renkte  $TiB_2$  partiküllerinin yer aldığı,  $TiB_2$ ’ce fakir bölgelerde ise bu ağ yapının yer almadığı dikkati çekmektedir. Bu sonuç S. Kumar (Kumar et al., 2010) ve M. F. Forster (Forster et al., 2003)ve arkadaşlarının çalışmalarına benzerlik içermektedir. Şekilde ayrıca güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş iki bölgenin birbirinden keskin bir şekilde ayrıldığı görülmektedir.



Şekil 3. Üretilen kompozite ait mikro yapı görüntüsü

Yapılan yoğunluk analizleri neticesinde alüminyum matrisli kompozitte güçlendirilmemiş bölgelerin yoğunluğu  $2,69 \text{ g/cm}^3$ , Al-Cu matrisli kompozitlerde  $2,85 \text{ g/cm}^3$  olarak ölçülmüştür. Buna karşın güçlendirilmiş bölgelerde yoğunluk değerleri Alüminyum matrisli kompozit için  $2,98 \text{ g/cm}^3$ , Al-Cu matrisli kompozit için  $3,03 \text{ g/cm}^3$  olarak ölçülmüştür. Ölçülen bu yoğunluk değerleri kullanılarak karışım kuralına göre takviye oranları teorik olarak hesaplanmıştır. Takviye oranları güçlendirilmiş bölgelerde her iki kompozit için yaklaşık olarak %10 olarak bulunmuştur.

Mikro yapı analiz sonuçlarına göre  $TiB_2$ ’ce fakir bölgelerde  $TiB_2$  borür yapılarının hiç görülmemesi nedeniyle bu bölgeler matris olarak ( saf Al ve Al-Cu) değerlendirilmiş ve  $TiB_2$ ’ce zengin bölgelerde % 10 oranında  $TiB_2$  borür yapısı olması nedeniyle bu bölgeler kompozit ( $TiB_2/Al$  ve  $TiB_2/Al-Cu$  kompozitleri) olarak değerlendirilmiştir.

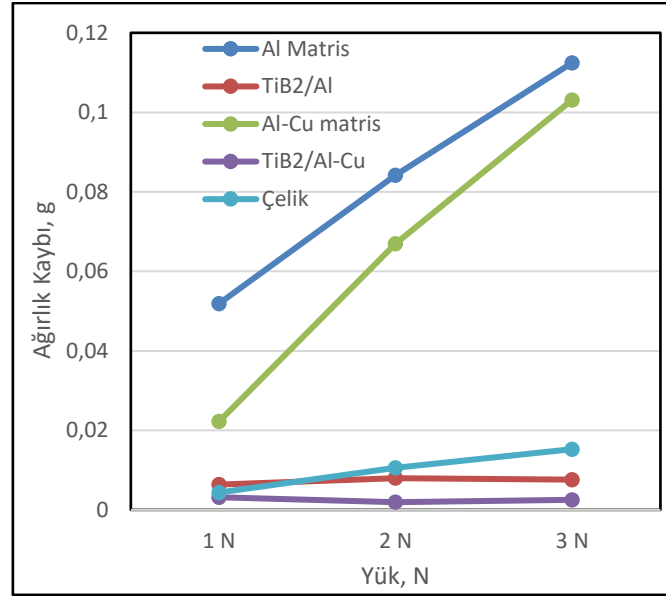
Tablo 2’de kompozitlerin  $TiB_2$ ’ce zengin ve fakir bölgeleri ve çelik malzemeye ait aşınma testleri neticesinde alınan ortalama ilk ağırlık, son ağırlık ve onların farkları deney parametreleri ile birlikte verilmiştir. Tabloda genel olarak  $TiB_2$ ’ce fakir olarak isimlendirilen saf Al ve Al-Cu matris bölgelerinin aşınma oranlarının  $TiB_2$ ’ce zengin olan  $TiB_2/Al$  ve  $TiB_2/Al-Cu$  kompozit bölgelerine göre daha düşük olduğu dikkati çekmektedir. Tabloda ayrıca artan yüklerle birlikte aşınma miktarlarının arttığı görülmektedir. Genel olarak Al-Cu matrisli kompozitlerin ve çelik malzemenin aşınma miktarının saf alüminyum matrisli kompozitlere göre daha düşük olduğu görülmektedir. En yüksek aşınma miktarı  $5,5 \text{ m/s}$  hızında ve  $3 \text{ N}$  yük altında yapılan  $TiB_2$ ’ce fakir (saf Al matrisli) bölgesinde ortalama  $0,1771 \text{ gr}$  olarak ölçülmüştür. En düşük aşınma miktarı ise  $TiB_2$ ’ce zengin ( $TiB_2/Al-Cu$  kompozit) bölgesinde  $3,5 \text{ m/s}$  kayma hızında ve  $2 \text{ N}$  yük altında yapılan deneyde ortalama  $0,0011 \text{ gr}$  olarak ölçülmüştür.

Tablo 2. Abrasif aşınma deney parametreleri ve sonuçları

Deney no.	Malzeme	Deney Koşulları			Sonuçlar		
		Hız, m/sn	Yük, N	Yol, m	İlk ölçüm, gr	İkinci ölçüm, gr	Ağırlık farkı
1	$TiB_2$ ’ce fakir bölge (Al Matris)	1,5	1 N	100	5,146	5,0638	0,0822
2		1,5	2 N	100	4,405	4,3408	0,0642
3		1,5	3 N	100	4,3408	4,2914	0,0494
4		3,5	1 N	100	4,5161	4,4956	0,0205
5		3,5	2 N	100	4,7223	4,6270	0,0953
6		3,5	3 N	100	4,6270	4,5161	0,1109
7		5,5	1 N	100	2,0058	1,9528	0,0530
8		5,5	2 N	100	2,0988	2,0058	0,0930
9		5,5	3 N	100	2,2759	2,0988	0,1771

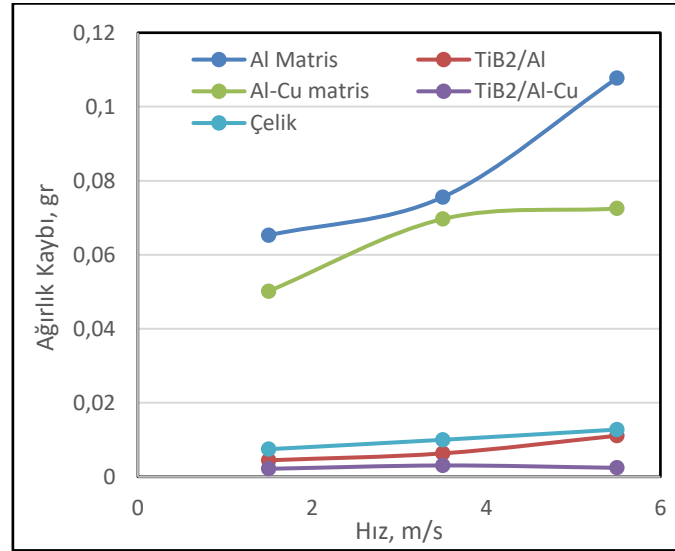
10	TiB <sub>2</sub> 'ce zengin bölge (TiB <sub>2</sub> /Al Kompoziti)	1,5	1 N	100	4,1798	4,1783	0,0015
11		1,5	2 N	100	4,1917	4,1869	0,0048
12		1,5	3 N	100	4,1869	4,1798	0,0071
13		3,5	1 N	100	4,2010	4,1962	0,0048
14		3,5	2 N	100	4,2152	4,2098	0,0054
15		3,5	3 N	100	4,2098	4,2010	0,0088
16		5,5	1 N	100	4,2345	4,2217	0,0128
17		5,5	2 N	100	4,2550	4,2413	0,0137
18		5,5	3 N	100	4,2413	4,2345	0,0068
19	TiB <sub>2</sub> 'ce fakir bölge (Al-Cu Matris)	1,5	1 N	100	4,5624	4,5462	0,0162
20		1,5	2 N	100	4,6967	4,6387	0,0580
21		1,5	3 N	100	4,6387	4,5624	0,0763
22		3,5	1 N	100	4,7636	4,7381	0,0255
23		3,5	2 N	100	4,9471	4,8773	0,0698
24		3,5	3 N	100	4,8773	4,7636	0,1137
25		5,5	1 N	100	2,6825	2,6575	0,0250
26		5,5	2 N	100	2,7556	2,6825	0,0731
27		5,5	3 N	100	2,8750	2,7556	0,1194
28	TiB <sub>2</sub> 'ce zengin bölge (TiB <sub>2</sub> /Al-Cu Kompoziti)	1,5	1 N	100	5,2307	5,2278	0,0029
29		1,5	2 N	100	5,2278	5,2256	0,0022
30		1,5	3 N	100	5,2256	5,2242	0,0014
31		3,5	1 N	100	5,2422	5,2372	0,0050
32		3,5	2 N	100	5,2349	5,2338	0,0011
33		3,5	3 N	100	5,2338	5,2307	0,0031
34		5,5	1 N	100	5,2438	5,2422	0,0016
35		5,5	2 N	100	5,2485	5,246	0,0025
36		5,5	3 N	100	5,2460	5,2428	0,0032
37	Çelik	1,5	1 N	100	7,5972	7,5937	0,0035
38		1,5	2 N	100	7,6161	7,6085	0,0076
39		1,5	3 N	100	7,6085	7,5972	0,0113
40		3,5	1 N	100	7,6379	7,6373	0,0006
41		3,5	2 N	100	7,6673	7,6543	0,0130
42		3,5	3 N	100	7,6543	7,6379	0,0164
43		5,5	1 N	100	7,6866	7,6776	0,0090
44		5,5	2 N	100	7,7159	7,7047	0,0112
45		5,5	3 N	100	7,7047	7,6866	0,0181

Şekil 4'de Saf Al ve Al-Cu matris alaşımları, TiB<sub>2</sub>/Al ve TiB<sub>2</sub>/Al-Cu kompozitlerin ve çelik malzemenin artan yüke göre ağırlık kayıpları görülmektedir. Şekilde artan yük ile ağırlık kayıplarının bütün malzemeler için arttığı görülmektedir. Yükün artması ile en fazla aşınma kaybının sırasıyla saf Al ve Al-Cu matris malzemede olduğu görülmektedir. En düşük aşınma miktarı ise sırası ile TiB<sub>2</sub>/Al-Cu, çelik ve TiB<sub>2</sub>/Al malzemelerde olduğu görülmektedir.



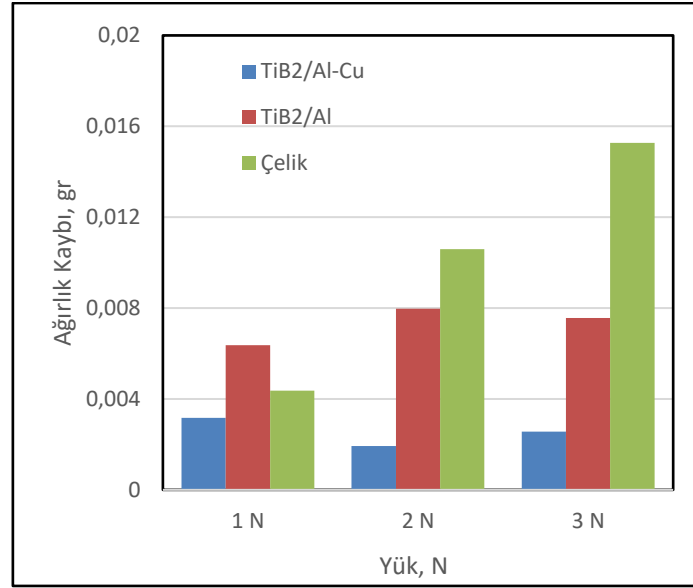
Şekil 4. TiB<sub>2</sub>/Al ve TiB<sub>2</sub>/Al-Cu kompozitlerin ve çelik malzemenin artan yüke bağlı ağırlık kaybı değişim grafiği

Şekil 5’de alüminyum ve Al-Cu matrisli bölgelerin ( TiB<sub>2</sub>/Al ve TiB<sub>2</sub>/Al-Cu kompozitlerin) ve çelik malzemenin hızı bağlı olarak çizilmiş ağırlık kaybı grafiği görülmektedir. Şekil 5’de açıkça kayma hızının artmasına göre aşınma kayıplarının arttığı görülmektedir. Ağırlıkça aşınma miktarlarında artan hızı bağlı olarak aşınma miktarlarında en yüksek artışı matris malzemelerde olduğu görülmektedir. Aşınma miktarlarında en düşük aşınma kaybı ise TiB<sub>2</sub> ile güçlendirilmiş bölgelerde ve çelik malzemede olduğu dikkati çekmektedir. Şekil 5’de aşınma miktarının en yüksek seviyelerde gözlemlendiği alüminyum matrisinde, kayma hızının 1,5m/sn’den 5,5m/sn’ye yükseltilmesi ile aşınma kayıplarının 0,065 gr seviyelerinden 0,10 gr seviyelerine yükseltti görülmektedir. en düşük aşınma kaybının gözlemlendiği TiB<sub>2</sub> ile güçlendirilmiş Al-Cu matrisle bölgede (TiB<sub>2</sub>/Al-Cu kompozitör), kayma hızının 1,5m/sn.den 5,5m/sn’ye yükseltilmesi sonucunda aşınma kayıpları 0,0021 gr’dan 0,0024 gr’a yükseldiği göze çarpmaktadır.



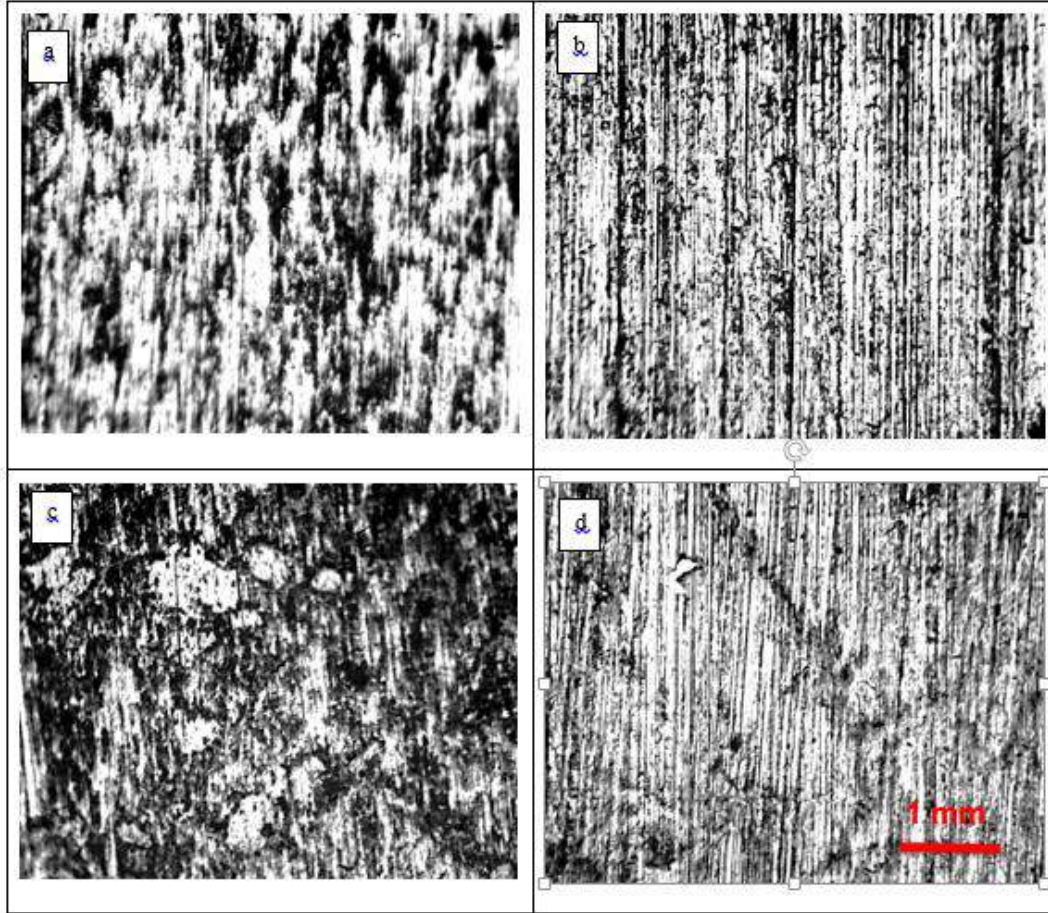
Şekil 5. TiB<sub>2</sub>/Al ve TiB<sub>2</sub>/Al-Cu kompozitlerin ve çelik malzemenin artan hızı bağlı ağırlık kaybı değişim grafiği

Şekil 6’de TiB<sub>2</sub>/Al ve TiB<sub>2</sub>/Al-Cu kompozitlerin, çelik malzemenin artan yüke bağlı ağırlık kaybının kolonsal grafik gösterimi verilmiştir. Şekil 6’da açık bir şekilde yükün artması ile çelik malzemede ağırlık kayıplarının 0,004 gr seviyelerinden 0,016 gr seviyelerine yükseldiği göze çarpmaktadır. TiB<sub>2</sub>/Al ve TiB<sub>2</sub>/Al-Cu kompozitlerin ise artan yükle birlikte ağırlık kayıplarının önemli oranda değişmediği görülmektedir. Aşınma kayıpları TiB<sub>2</sub>/Al kompoziti için 0,007 gr seviyelerinde iken TiB<sub>2</sub>/Al-Cu kompoziti için bu derer 0,002 gr seviyelerindedir. Grafikte en yüksek ağırlık kaybının bütün yükler için çelik malzemede olduğu dikkati çekmektedir. Kompozit malzemelerin ağırlık kayıplarının çeliğe malzemeye nazaran düşük olmasının nedeni matris içerisindeki %15 oranındaki TiB<sub>2</sub> partikülleridir.



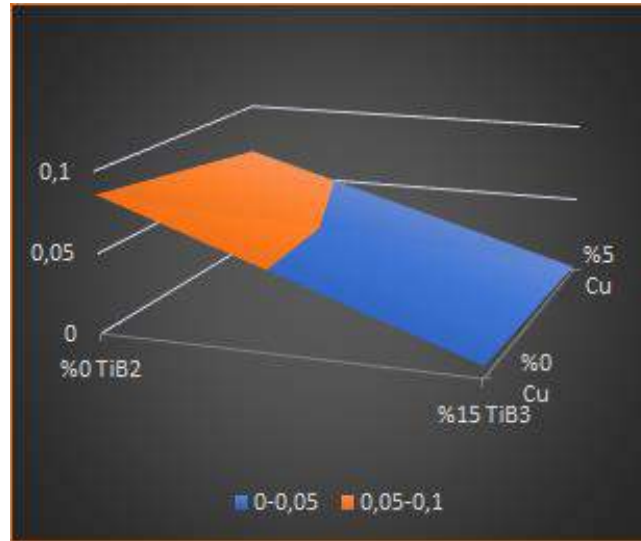
Şekil 6. TiB<sub>2</sub>/Al ve TiB<sub>2</sub>/Al-Cu kompozitlerin ve çelik malzemenin artan yüke bağlı ağırlık kaybının kolonsal grafik gösterimi

Şekil 7'de Aşınma izlerinin incelenmesi amacıyla TiB<sub>2</sub>/Al ve TiB<sub>2</sub>/Al-Cu kompozitlerine ait TiB<sub>2</sub>'ce zengin ve fakir bölgelerden alınan mikro yapı görüntüleri verilmiştir. Mikro yapı görüntüleri 5,5 m/s hız ve 3 N yük altında yapılan deney numunelerinden alınmıştır. Mikro yapı görüntülerinde TiB<sub>2</sub>'ce fakir bölgedeki aşınma izlerinin daha derin olduğu, TiB<sub>2</sub>'ce zengin bölgede ise aşınma izlerinin daha yüzeysel olduğu görülmektedir. En düşük derinliğe sahip izler, %15 TiB<sub>2</sub> takviyesi içeren Al-Cu matrisli bölgede olduğu, en yüksek aşınma iz derinlikleri ise TiB<sub>2</sub> borür yapılarını içermeyen (Al matrisli) bölgede olduğu görülmektedir.



Şekil 7. (a) TiB<sub>2</sub>/Al kompoziti (TiB<sub>2</sub>'ce zengin bölge), (b) Al Matris (TiB<sub>2</sub>'ce fakir bölge), (c) TiB<sub>2</sub>/Al-Cu kompoziti (TiB<sub>2</sub>'ce zengin bölge) ve (d) Al-Cu matrisine (TiB<sub>2</sub>'ce fakir bölgeye) ait aşınma izleri optik görüntüsü





Şekil 8. Alüminyuma TiB<sub>2</sub> ve Bakır ilavesinin ağırlık kayıplarına etkisi

Şekil 8’de alüminyum içerisine %15 TiB<sub>2</sub> ve %5 bakır ilavesinin ağırlık kayıpları üzerine etkisi gösterilmektedir. Grafik, 320 grid zımpara altında ve 100 m kayma mesafesinde yapılan aşınma testlerinden elde edile sonuçlarının ortalamaları alınarak hazırlanmıştır. Hazırlanan grafik açıkça matris içerisinde artan TiB<sub>2</sub> ve Cu miktarı ile aşınma kayıplarının azaldığını göstermektedir. Aşınma miktarının düşürülmesinde matris içerisine %15’lik TiB<sub>2</sub> ilavesinin ağırlık kayıplarının azaltılması üzerinde %5 bakır ilavesine göre daha etkili olduğunu göze çarpmaktadır. Saf alüminyum matrise %15 TiB<sub>2</sub> ilavesi ile ağırlık kayıplarının 0,08 gr’dan 0,03 gr’a düştüğü gözlemlenmesine karşın %5’lik bakır ilavesi ile 0,08 gr’dan 0,06 gr’a düştüğü görülmektedir. Grafikte en düşük aşınma kaybı hem TiB<sub>2</sub> hemde Cu ilavesinde 0,001 gr olduğu görülmektedir.

Sonuçlarda artan yük ve artan kayma hızı ile kompozitlerin abrasif aşınma kayıplarının arttığı görülmektedir (Şekil 4 ve Şekil 5). Uygulanan yük ile aşınma miktarının artmasının muhtemel nedeni aşınan yüzeylerin SiC aşındırıcı partiküllerin daha çok penetre olmasıdır. Penetrasyonun artması ile daha derin izlerinin oluşması ve aşınma ile birlikte daha çok malzeme kaybı olmaktadır. Bu sonuçlar kompozit malzemelerin aşınma davranışları üzerine yapılan çalışmalarla paralellik göstermektedir (Ozdin, 2007)(Ko, 2006)(N. Radhika & Raghu, 2018). Artan hızla birlikte aşınma miktarının artması, aşınma testleri sırasında oluşan sürtünmeden dolayı aşınan yüzeylerin ısınmasından kaynaklanmaktadır. Yüzeylerinin ısınması aşındırıcı partiküllerinin daha çok nüfuz etmesine neden olarak aşınma kayıplarının artmasına neden olmuştur. Fıçıcı ve arkadaşları AlB<sub>2</sub> takviyeleri kompozitlerin aşınma davranışı üzerine yaptıkları çalışmada artan kayma hızı ile aşınma yüzeylerinde oluşan ısı ile aşınma miktarının arttığını rapor etmişlerdir(Ficici, 2016).

Çalışmada matris içerisine ilave edilen TiB<sub>2</sub> ile aşınma kayıplarının azaldığı görülmektedir. Bunun muhtemel nedeni matris içindeki TiB<sub>2</sub> partikülleri sertlik artışına neden olarak aşındırıcı partiküllerinin aşınan yüzeylere penetrasyonunu azaltarak aşınma kayıplarının azalmasına neden olmuştur. TiB<sub>2</sub> takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin aşınma davranışı üzerine yapılan bir çok çalışmada TiB<sub>2</sub> partiküllerinin ilavesi ile kompozitlerin sertlik değerlerini artırmasına bağlı olarak kompozitlerin aşınma özelliklerinin iyileştiği rapor edilmiştir (Kumar et al., 2007)(Kumar, Chakraborty, Subramanya Sarma, & Murty, 2008)(Kumar, Subramanya Sarma, & Murty, 2009)(Krishnamurthy et al., 2017).

Şekil 7’de verilen aşınma izlerine ait optik görüntüler TiB<sub>2</sub> ile güçlendirilmiş bölgelerde aşınma kayıplarının daha düşük olmasının nedenini açıklamaktadır. Optik görüntülerde TiB<sub>2</sub> partikülleri ile güçlendirilmiş bölgelerde aşınma izleri daha ince ve yüzeysel iken güçlendirilmemiş bölgelerde daha kalın ve derin olduğu görülmektedir. Şekil 7b’de net bir şekilde görülen derin izler daha çok malzeme kaybına neden olması beklenirken, Şekil 7c’de görülen ince ve yüzeysel izlerin daha az malzeme kaybına neden olması beklenmektedir(Nachimuthu Radhika & Raghu, 2016)(Niu et al., 2012). Şekil 6’da görüleceği üzere alüminyum matrisli kompozitlere göre Al-Cu matrisli kompozitlerin daha az aşındığı görülmektedir. Bunun muhtemel nedeni alüminyum matrise ilave edilen %5 bakır alaşımının kompozitin sertliğinin artırmasından kaynaklanmaktadır. Bu sertlik artışı aynı şekilde aşındırıcı SiC partiküllerin aşınma yüzeylerine penetre olmasına engelleyerek aşınma kayıplarının daha az olmasına neden olmaktadır. Şekil 7a ve 7c’de verilen TiB<sub>2</sub>/Al ve TiB<sub>2</sub>/Al-Cu kompozitlere ait aşınma izleri bu sonuçları desteklemektedir. Şekildeki TiB<sub>2</sub>/Al-Cu kompozitlerine ait aşınma izlerinin TiB<sub>2</sub>/Al Kompozitlerine nazaran daha ince ve yüzeysel olduğu görülmektedir.

#### 4. Genel Sonuçlar

Fonksiyonel derecelendirilmiş TiB<sub>2</sub> takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin üretimi ve abrasif aşınma özelliklerinin deneysel araştırılmasına yönelik olarak yapılan bu çalışmada araştırma sonuçları aşağıda verilmiştir;

1. Üretilen Kompozitlerin TiB<sub>2</sub>’ce zengin ve fakir iki bölgeye sahip oldukları tespit edilmiştir. TiB<sub>2</sub>’ce zengin bölgelerde TiB<sub>2</sub> borür oranının yaklaşık ağırlıkça %10 civarında, TiB<sub>2</sub>’ce fakir bölgelerde ise %0 seviyelerinde olduğu tespit edilmiştir.
2. Sertlik testleri sonucunda TiB<sub>2</sub>/Al kompoziti için TiB<sub>2</sub>’de zengin ve fakir bölgelerde sırası ile ortalama 56,5 HB ve 19,0 HB, TiB<sub>2</sub>/Al-Cu kompoziti için TiB<sub>2</sub>’de zengin ve fakir bölgelerde sırası ile ortalama 115,3 HB ve 70,0 HB olarak tespit edilmiştir.



3. 320 grid zımpara kademesinde 1 N, 2 N ve 3 N yükler altında 100 m aşınma mesafesinde 1,5 m/sn, 3,5m/sn ve 5,5 m/sn hızlarda gerçekleştirilen abresif aşınma testleri sonucunda artan yük ve artan hıza bağlı olarak ağırlık kaybı miktarlarında artış gözlemlenmiştir. Çelik malzemenin ağırlık kaybı miktarının TiB<sub>2</sub>' ile güçlendirilmeyen bölgelerde (Al ve Al-Cu matris) daha düşük olduğu, %15 TiB<sub>2</sub> takviyeli bölgelerden (TiB<sub>2</sub>/Al ve TiB<sub>2</sub>/Al-Cu kompozit) ise daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
4. Abrasif aşınma testleri sonucunda ortalama aşınma kayıplarının saf alüminyum içerisine ilave edilen %5 Cu ile daha düşük seviyelerde iken %15 TiB<sub>2</sub> ilavesi ile aşınma kaybının daha fazla düşüş olduğu görülmüştür. Alüminyuma TiB<sub>2</sub> ilavesi ile ortalama aşınma kayıplarının 0,08 gr'dan 0,03 gr'a kadar düşüş gözlenirken, %5'lik bakır ilavesi ile 0,08 gr'dan 0,06 gr değerine düşmüştür. Her ikisinin birden ilavesiyle ağırlık aşınma kayıplarının ortalama 0,001 gr'a kadar düştüğü tespit edilmiştir.

**Teşekkür:** Çalışmaya katkılarından dolayı TÜBİTAK 1919B011702249 numaralı 2209 – A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklerinden dolayı teşekkür ederim. Ayrıca çalışmalarında desteklerini eksik etmeyen proje arkadaşlarım Mert BADEM, Sergen EVİRGEN ve A. Metehan KARADAĞ'a da teşekkür ederim.

## Kaynakça

- Auradi, V., & Kori, S. A. (2008). Influence of reaction temperature for the manufacturing of Al-3Ti and Al-3B master alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 453(1–2), 147–156. doi:10.1016/j.jallcom.2006.11.119
- Ding, W., Xia, T., & Zhao, W. (2014). Performance comparison of Al-Ti master alloys with different microstructures in grain refinement of commercial purity aluminum. *Materials*, 7(5), 3663–3676. doi:10.3390/ma7053663
- Fan, Z., Wang, Y., Zhang, Y., Qin, T., Zhou, X. R., Thompson, G. E., ... Hashimoto, T. (2015). Grain refining mechanism in the Al/Al-Ti-B system. *Acta Materialia*, 84(November), 292–304. doi:10.1016/j.actamat.2014.10.055
- Ficici, F. (2016). The experimental optimization of abrasive wear resistance model for an in-situ AlB<sub>2</sub>/Al-4Cu metal matrix composite. *Industrial Lubrication and Tribology*, 68(6), 632–639. doi:10.1108/ILT-12-2015-0198
- Forster, M. F., Hamilton, R. W., Dashwood, R. J., & Lee, P. D. (2003). Centrifugal casting of aluminium containing in situ formed TiB<sub>2</sub>. *Materials Science and Technology*, 19(9), 1215–1219. doi:10.1179/026708303225005872
- Gao, Q., Wu, S., Lü, S., Xiong, X., Du, R., & An, P. (2017). Improvement of particles distribution of in-situ 5 vol% TiB<sub>2</sub> particulates reinforced Al-4.5Cu alloy matrix composites with ultrasonic vibration treatment. *Journal of Alloys and Compounds*, 692, 1–9. doi:10.1016/j.jallcom.2016.09.013
- Ko, M. (2006). Abrasive wear of Al 2 O 3 particle reinforced 2024 aluminium alloy composites fabricated by vortex method, 37, 457–464. doi:10.1016/j.compositesa.2005.05.038
- Krishnamurthy, K., Ashebre, M., Venkatesh, J., & Suresha, B. (2017). Dry Sliding Wear Behavior of Aluminum 6063 Composites Reinforced with TiB<sub>2</sub> Particles. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 05(02), 74–89. doi:10.4236/jmmce.2017.52007
- Kumar, S., Chakraborty, M., Subramanya Sarma, V., & Murty, B. S. (2008). Tensile and wear behaviour of in situ Al-7Si/TiB<sub>2</sub> particulate composites. *Wear*, 265(1–2), 134–142. doi:10.1016/j.wear.2007.09.007
- Kumar, S., Sarma, V. S., & Murty, B. S. (2007). Influence of in situ formed TiB<sub>2</sub> particles on the abrasive wear behaviour of Al-4Cu alloy. *Materials Science and Engineering A*, 465(1–2), 160–164. doi:10.1016/j.msea.2007.02.117
- Kumar, S., Subramaniya Sarma, V., & Murty, B. S. (2010). Functionally graded Al alloy matrix in-situ composites. *Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science*, 41(1), 242–254. doi:10.1007/s11661-009-0063-3
- Kumar, S., Subramanya Sarma, V., & Murty, B. S. (2009). Effect of temperature on the wear behavior of Al-7Si-TiB<sub>2</sub> in-situ composites. *Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science*, 40(1), 223–231. doi:10.1007/s11661-008-9696-x
- Lai, M. O., Su, Y., Teo, H. L., & Feng, C. F. (2001). In situ TiB<sub>2</sub> reinforced Al alloy composites, 45, 1017–1023.
- Lu, L., La, M., & Chen, F. L. (1997). Al-4 wt % Cu COMPOSITE REINFORCED PARTICLES WITH IN-SITU TiB<sub>2</sub>, 45(10).
- Miracle, D. B. (2005). SCIENCE AND Metal matrix composites – From science to technological significance, 65, 2526–2540. doi:10.1016/j.compscitech.2005.05.027
- Naebe, M., & Shirvanimoghaddam, K. (2016). Functionally graded materials: A review of fabrication and properties. *Applied Materials Today*, 5, 223–245. doi:10.1016/j.apmt.2016.10.001
- Niu, L. Bin, Zhang, J. M., & Yang, X. L. (2012). In-situ synthesis of Al 3Ti particles reinforced Al-based composite coating. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 22(6), 1387–1392. doi:10.1016/S1003-6326(11)61330-7
- Ozdin, K. (2007). Wear resistance of aluminium alloy and its composites reinforced by Al 2 O 3 particles, 183, 301–309. doi:10.1016/j.jmatprotec.2006.10.021

- Radhika, N., & Raghu, R. (2018). Effect of Centrifugal Speed in Abrasive Wear Behavior of Al-Si<sub>5</sub>Cu<sub>3</sub>/SiC Functionally Graded Composite Fabricated by Centrifugal Casting. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 71(3), 715–726. doi:10.1007/s12666-017-1204-9
- Radhika, Nachimuthu, & Raghu, R. (2016). Effect of Abrasive Medium on Wear Behavior of Al/AlB<sub>2</sub> Functionally Graded Metal Matrix Composite. *Tribology Online*, 11(3), 487–493. doi:10.2474/trol.11.487
- Rajan, T. P. D., & Pai, B. C. (2011). Processing of Functionally Graded Aluminium Matrix Composites by Centrifugal Casting Technique. *Materials Science Forum*, 690, 157–161. doi:10.4028/www.scientific.net/msf.690.157
- Rosso, M. (2006). Ceramic and metal matrix composites: Routes and properties. *Journal of Materials Processing Technology*, 175(1–3), 364–375. doi:10.1016/j.jmatprotec.2005.04.038
- Sasikumar, S., Ramkumar, K. R., Iniyar, S., Gowthaman, M., & Sivasankaran, S. (2014). Study of mechanical and machining behavior of AA 7075-3 % TiB<sub>2</sub> in-situ composite, 3(3), 1229–1233.
- Singh, R., Bhavar, V., Kattire, P., Thakare, S., Patil, S., & Singh, R. K. P. (2017). A Review on Functionally Gradient Materials (FGMs) and Their Applications. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 229(1), 0–9. doi:10.1088/1757-899X/229/1/012021
- Sreenivasan, A., Vizhianb, S. P., Shivakumarc, N. D., Munirajua, M., & Raguramand, M. (2011). A study of microstructure and wear behaviour of TiB<sub>2</sub> / Al metal. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 8, 1–8.
- Tee, K. L., Lu, L., & Lai, M. O. (1999). In situ processing of Al – TiB<sub>2</sub> composite by the stir-casting technique, 90, 513–519.
- Tee, K. L., Lu, L., & Lai, M. O. (2010). In situ stir cast Al–TiB<sub>2</sub> composite: processing and mechanical properties . *Materials Science and Technology*, 17(2), 201–206. doi:10.1179/026708301101509863
- Tjong, S. C., & Ma, Z. Y. (2000). Microstructural and mechanical characteristics of in situ metal matrix composites. *Materials Science and Engineering R: Reports*, 29(3), 49–113. doi:10.1016/S0927-796X(00)00024-3
- Watanabe, Y., Zhou, Q., Sato, H., Fujii, T., & Inamura, T. (2017). Microstructures of Al-Al<sub>3</sub>Ti functionally graded materials fabricated by centrifugal solid-particle method and centrifugal in situ method. *Japanese Journal of Applied Physics*, 56(1), 0–11. doi:10.7567/JJAP.56.01AG01
- Zhang, H., Geng, J., Li, X., Chen, Z., Wang, M., Ma, N., & Wang, H. (2017). The micro-arc oxidation (MAO) behaviors of in-situ TiB<sub>2</sub>/A201 composite. *Applied Surface Science*, 422, 359–371. doi:10.1016/j.apsusc.2017.06.043



# Ambalajı Açıldıktan Sonra Buzdolabında Depolanan İki Farklı Tütsülenmiş Balık Ürününün Mikrobiyal Kalite Değişimlerinin Gözlenmesi

Turgay Çetinkaya<sup>1\*</sup>, Zafer Ceylan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2962-1241)

<sup>2</sup>Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, İşleme Teknolojisi ABD, Van, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6527-4382)

(İlk Geliş Tarihi 21 Kasım 2019 ve Kabul Tarihi 19 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.649379)

**ATIF/REFERENCE:** Çetinkaya, T. & Ceylan, Z. (2019). Ambalajı Açıldıktan Sonra Buzdolabında Depolanan İki Farklı Tütsülenmiş Balık Ürününün Mikrobiyal Kalite Değişimlerinin Gözlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 982-988.

## Öz

Günümüzde tütsülenmiş balık ürünleri tüketiciler tarafından yaygın olarak tercih edilmektedir. Ancak tütsülenmiş balık ürünlerinde özellikle ürünün ambalajı açıldıktan sonra mikrobiyal büyüme hızı artabilmektedir. Bu çalışma ile Türkiye'de büyük marketlerde satılmakta olan iki farklı füme balık ürününün mikrobiyal değişimi 0., 12., 24., 36. ve 60. saatlerde izlenmiştir. Çalışmanın sonuçları, ambalajlar açıldıktan sonra buzdolabı koşullarında (4±1 °C) saklanmasına rağmen füme balıklarında Toplam Mezofilik Aerobik Bakteri (TMAB), Toplam Psikrofilik Bakteri (TPB) ve Toplam Maya&Küf (TMK) yükünün hızlıca yükseldiğini göstermiştir. Bu yüzden, çalışmanın sonuçlarına göre, ambalajların açılmasını takiben buzdolabı koşullarında saklanan füme Norveç Somonu (NS) ve Karadeniz Alası (KA) örneklerinin 36. saatten sonra tüketilmemesi önerilmektedir. Çünkü 36 saat sonra, tütsülenmiş NS ve KA için TMAB yükü sırasıyla 5.49 log KOB/g ve 5.95 log KOB/g değerlerine ulaşmıştır. TPB yükü ise tütsülenmiş NS ve KA örneklerinde sırasıyla 6.11 KOB/g ve 6.02 KOB/g, olarak belirlenmiştir. Bu örneklerde TMK değerlerinde de yükselme olmasına rağmen bu değerlerin bakteriyel gelişmeye göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Ancak 36 saat içinde, KA ürünlerinde TMK değerinin 5 log KOB/g'ın üzerine çıktığı görülmüştür. Öte yandan, 36. saatte NS ürünlerinin TMK değerinin ise 5 log KOB/g'dan daha az olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, NS ve KA ürünlerinde duman aromasınının 24 saat sonunda kısmen kaybolduğu ve bazı bölgelerde örneklerin renginin değişerek yeşillenmeye başladığını gözlemlenmiştir. Bütün sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, özellikle tütsülenmiş balık ürünlerinin ambalajı açıldıktan sonra, ilk 24 saat içinde tüketilmesi tavsiye edilmektedir. Bu çalışma, tütsülenmiş balık ürünlerinde mikrobiyal bozulmayı önlemek için duman aromasını raf ömrü boyunca ambalaj içinde tutacak özelliklere sahip ambalaj kullanılması gerektiğini göstermiştir. Buna ilaveten ambalaj içindeki balığın bozulma durumunu gösteren, bozulma sürecini geciktiren akıllı ve/veya aktif ambalaj uygulamaları üzerinde de çalışılması gerekmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Norveç Somonu, Karadeniz Alası, füme, mikrobiyal kalite, tüketici.

## An Observation of Microbial Quality Changes of Two Different Smoked Fish Products Stored at Refrigerator After Their Packages Being Opened

### Abstract

Smoked fish products are recently preferred by the consumers, but especially after their packages are opened, microbial growth of smoked fish may rapidly increase. In the present study, microbial growth of two different smoked fish products which are sold in local markets in Turkey, were monitored at 0., 12., 24., 36. and 60. hour (h) periods. As can be seen from the results of the study although the samples were stored at refrigerator conditions (4±1°C), Total Mesophilic Aerobic Bacteria (TMAB), Total Psychrophilic Bacteria

\* Sorumlu Yazar: İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0003-2962-1241, [cetinkayat@itu.edu.tr](mailto:cetinkayat@itu.edu.tr)

(TPB) and Total Yeast&Mold (TYM) growth in smoked fish samples rapidly increased. Thus, with this study, it is advised that smoked Norway Salmon (NS) and smoked Black Sea Salmon (KA) samples opened and stored at refrigerator conditions should not be consumed after 36h. Because, 36h later, TMAB growth reached to 5.49 log CFU/g and 5.95 log CFU/g for smoked NS and KA, respectively. On the other hand, TPB counts of NS and KA smoked fish products were determined to be 6.11 log CFU/g and 6.02 log CFU/g, respectively. Though TYM growth was also found to be increased in these samples, it was slower as compared to the bacterial growth. However, within 36h, the TYM count of KA samples reached above 5 log CFU/g. On the other hand, the TYM count of NS samples was still lower than 5 log CFU/g after 36h. Furthermore, it was observed that particularly smoke aroma was lost in the package and the colour of some parts started to be turned green for smoked NS and KA samples after 24h. Once all results were evaluated together, particularly, after the packages containing smoked fish products are opened, all smoked samples suggested to be consumed within 24h. The present study indicated that a package which has properties to keep the smoke flavor inside the package during shelf life should be used in order to delay the microbial spoilage in the smoked fish samples. In addition, smart and/or active packaging applications that indicate the deterioration or delay the deterioration process should also be studied.

**Keywords:** Norway Salmon, Black Sea Salmon, smoking, microbial quality, consumer.

## 1. Giriş

Balık eti zengin besin içeriği nedeniyle insan beslenmesinde önemli bir yere sahiptir. Ülkemizde deniz ürünleri gelişmiş ülkelere kıyasla az tüketilmesine rağmen, tüm su ürünleri arasında en çok balık ve balıktan üretilen işlenmiş ürünler tüketiciler tarafından tercih edilmektedir (Ceylan ve Unal, 2019). Öte yandan, işleme yöntemleri ve gıda muhafaza yöntemleri halk sağlığı açısından da son derece önemlidir. Uygun şartlar altında yapılmayan işleme yöntemi, ürün her ne kadar iyi muhafaza edilmiş olsa dahi, ürün kalitesini olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Özkaya ve Cömert, 2008). Aslında balık yaşadığı ortam itibari ile en sağlıklı gıdalar arasında değerlendirilmektedir. Dahası literatüre bakıldığında balık eti anne sütü ile kıyaslanan gıda maddeleri arasında yer almaktadır. Fakat balık eti çabuk bozulabilen su ürünleri arasındadır (Külcü, 2017). Ayrıca, özellikle işleme yöntemlerine tabi tutulan ürünlerde işleme süresi boyunca, balık etinin mikrobiyal ya da kimyasal kalitesinde daha hızlı değişimler meydana gelebilmektedir (Meral ve diğ., 2019; Ceylan ve diğ., 2017).

Balık eti taze satışının yanı sıra çoğunlukla, dondurulmuş, konserve edilmiş ve füme olarak işlenmekte ve satılmaktadır. Füme ürünler, sıcak ya da soğuk dumanlama işlemine tabi tutularak duman aroması ile buluşturulabilirler (Yurchenko ve Mölder, 2005). Dahası, Stołyhwo ve Sikorski (2005)'e göre, füme prosesindeki üretim şartları ve duman konsantrasyonu ürünün raf ömrünü uzatmasının yanı sıra insan sağlığı üzerinde de pozitif etkide olabilmektedir. Füme teknolojinin uygulanışı esnasında ortaya çıkan tütsü içeriğindeki bileşiklerin gıda ile teması sonucunda bu bileşikler ürüne has lezzet verirken ürün üzerinde antimikrobiyal etki de sağlayabilmektedir. (Ertaş, 1998).

Türkiye'de füme balık tüketimi diğer Avrupa ülkelerine kıyasla daha azdır (Ceylan ve Şengör, 2015). Ancak, füme balık tadının tüketiciler tarafından keşfedilmesi ile tüketimi her geçen gün giderek artış göstermektedir. Öte yandan, tüketiciler özellikle füme ürünleri satın aldıkları sırada son kullanma tarihine ya da etiket üzerinde yazıyorsa üretim tarihlerine bakmaktadırlar. Ancak balık etinin kasaplık hayvan etlerine kıyasla daha hızlı bozulabildiği iyi bilinmektedir. Bu nedenle tüketiciler bu ürünleri satın aldıkları yani 4 °C'deki soğuk muhafazadan çıkardıkları andan itibaren mikrobiyal gelişim hızla artabilmektedir.

Balık etinin bozulması renk, kıvam, koku ve lezzet açısından kendini gösterebilmekte, balığın kalitesini düşürmekte ve sonrasında tüketilme olanağını tamamen ortadan kaldırmaktadır. Balık etindeki bozulma genel anlamda otoliz, oksidasyon, bakteriyel bozulma ve bu faktörlerin birlikte faaliyeti ile kendini gösterebilmektedir (İnal 1992; Küçüköner ve Küçüköner, 1990). Balıklarda özellikle *Achromobacter*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Escherichia*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Proteus*, *Photobacterium* cinsine ait bakteriler ile bazı mayaların bulunduğu tespit edilmiştir (Gökten, 1990). Norveç kaynaklı bazı balıklarda ise *Enterobacteriaceae*, *Micrococcus*, *Lactobacillus*, *Vibrio*, *Coryneform* ve *Streptococcus* cinsi bakterilerin de bulunabildiği ortaya konulmuştur (Ringo ve Strom, 1994). Yukarıda belirtilen çalışmaların yanı sıra balık etinde meydana gelen pek çok bozulma parametresi de mikrobiyal bozulma ile beraber ilişkilendirilmektedir (Getu ve diğ., 2015; Masette 1999). Ayrıca, gıda kaynaklı zehirlenme oranları da gözardı edilmeyecek düzeydedir. Bu nedenle, yaygın olarak tüketilen ürünlerdeki mikrobiyal değişimlerin ortaya konularak tüketicilerin bilgilendirilmesi önem arz etmektedir.

Bu çalışmada iki farklı füme ürünün satın alma işleminden sonra, ambalajlarının açılıp kontrollü şartlar altında (4±1 °C) depolanmasını takiben üründe TMAB, TPB ve TMK gelişimlerinin belirli saat aralıklarında izlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Gıda materyali olarak, markette 4 °C'de soğuk dolapta sunulan kısımdan satın alınan, içeriği Karadeniz Alası eti (*Salmo trutta labrax*), tuz ve odun dumanından oluşan balık ürünü ve meşe ağacı aroması ile elde edilen talaşta "soğuk" fümelenmiş, içeriği Somon balığı eti (*Salmo salar*), tuz ve odun dumanından oluşan balık ürünü kullanılmıştır (n=3).

## 2.2. Metot

### 2.2.1. Mikrobiyolojik Analizler

Sunulan çalışmada, TMAB, TPB ve TMK sayımları gerçekleştirilmiştir. Çalışma süresince  $10^{11}$ 'den  $10^8$ 'e kadar hazırlanan dilüsyondan 1 mL örnek alınarak steril petrilerin içerisine aktarılmış, üzerine Plate Count Agar (PCA, Merck-VM888763 930) besiyerinin dökülmesi ve çalkalama işlemini takiben petriler soğumaya bırakılmıştır. TMAB sayısı, 0., 12., 24., 36. ve 60. saat ekim yapılan petrilerin 35 °C'ye ayarlanmış inkübatörde (Memmert, D-91126, Schwabach FRG, Germany) 24-48 saat inkübe edilmesi ile tespit edilmiştir. TPB'deki değişimi tespit etmek için, ekim yapılan petri kapları 7 °C'ye ayarlanmış inkübatörde (Memmert, D-91126, Schwabach FRG, Germany) 10 gün boyunca inkübe edilmiştir. TMAB ve TPB analizleri yukarıda belirtilen açıklamalara bağlı olarak FDA (Food and Drug Administration) bakteriyolojik analitik el kitabında yer alan Maturin ve Peeler (1998) yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. TMK sayısı için ise Dichloran Rose Bengal Agar (DRBC, Merck-VM330966 142) besiyeri petrilere dökülerek petriler soğumaya bırakılmıştır. Aynı şekilde analiz süresince  $10^{11}$ 'den  $10^8$ 'e kadar hazırlanan dilüsyonlardan 0,1 mL örnek alınarak steril petrilerin içerisine aktararak yayma plak yöntemi ile ekim işlemi gerçekleştirilmiştir. Petriler inkübatörde (Memmert, D-91126, Schwabach FRG, Germany) 23 °C sıcaklıkta 5 gün süresince inkübe edilmiştir (Anon, 2005).

### 2.2.2. İstatistiksel Analiz

Elde edilen veriler ANOVA testine tabi tutularak örneklerdeki soğuk depolama süresince meydana gelen farklılıklar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. JMP (SAS Campus Drive, USA Versiyon 14) istatistik yazılım programı gruplar arasındaki ve depolama saatleri (0., 12., 24., 36. ve 60. saatler) arasındaki istatistiksel önem farkını ortaya koymak için kullanılmıştır. Gruplar ve depolama saatleri arasındaki istatistiksel önem farkı Student's t-Test ile ortaya konulmuş olup, bu istatistiksel önem farkı  $p < 0.05$  ile gösterilmiştir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

NS ve KA örneklerine ait TMAB, TPB ve TMK sonuçları ve bunların istatistiksel olarak yorumlanmasına ait veriler Tablo 1 ve 2'de sunulmuştur.

**Tablo 1.** NS'de depolama süresine bağlı TMAB, TPB ve TMK sayısında (log KOB/g) meydana gelen mikrobiyal değişimler.

Ürün	Depolama Süresi (Saat)				
	0.	12.	24.	36.	60.
TMAB	3.29±0.02 <sup>D</sup>	4.04±0.37 <sup>C</sup>	4.40±0.11 <sup>C</sup>	5.49±0.16 <sup>B</sup>	7.57±0.03 <sup>A</sup>
TPB	3.49±0.06 <sup>E</sup>	4.82±0.13 <sup>D</sup>	5.70±0.10 <sup>C</sup>	6.11±0.03 <sup>B</sup>	7.58±0.16 <sup>A</sup>
TMK	2.20±0.28 <sup>D</sup>	3.04±0.37 <sup>C</sup>	3.98±0.04 <sup>B</sup>	4.37±0.52 <sup>B</sup>	5.80±0.13 <sup>A</sup>

A, B, C, D, E depolama süresine bağlı olarak NS'ye ait örneklerdeki farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu tanımlar ( $p < 0.05$ ).

**Tablo 2.** KA'da depolama süresine bağlı TMAB, TPB ve TMK sayısında (log KOB/g) meydana gelen mikrobiyal değişimler.

Ürün	Depolama Süresi (Saat)				
	0.	12.	24.	36.	60.
TMAB	2.93±0.29 <sup>C</sup>	4.67±0.47 <sup>B</sup>	5.65±0.49 <sup>A</sup>	5.95±0.03 <sup>A</sup>	6.11±0.06 <sup>A</sup>
TPB	3.26±0.06 <sup>C</sup>	3.62±0.54 <sup>C</sup>	5.20±0.01 <sup>B</sup>	6.02±0.23 <sup>C</sup>	6.65±0.25 <sup>C</sup>
TMK	2.52±0.35 <sup>C</sup>	3.16±0.08 <sup>BC</sup>	3.28±0.39 <sup>B</sup>	5.45±0.21 <sup>A</sup>	5.57±0.04 <sup>A</sup>

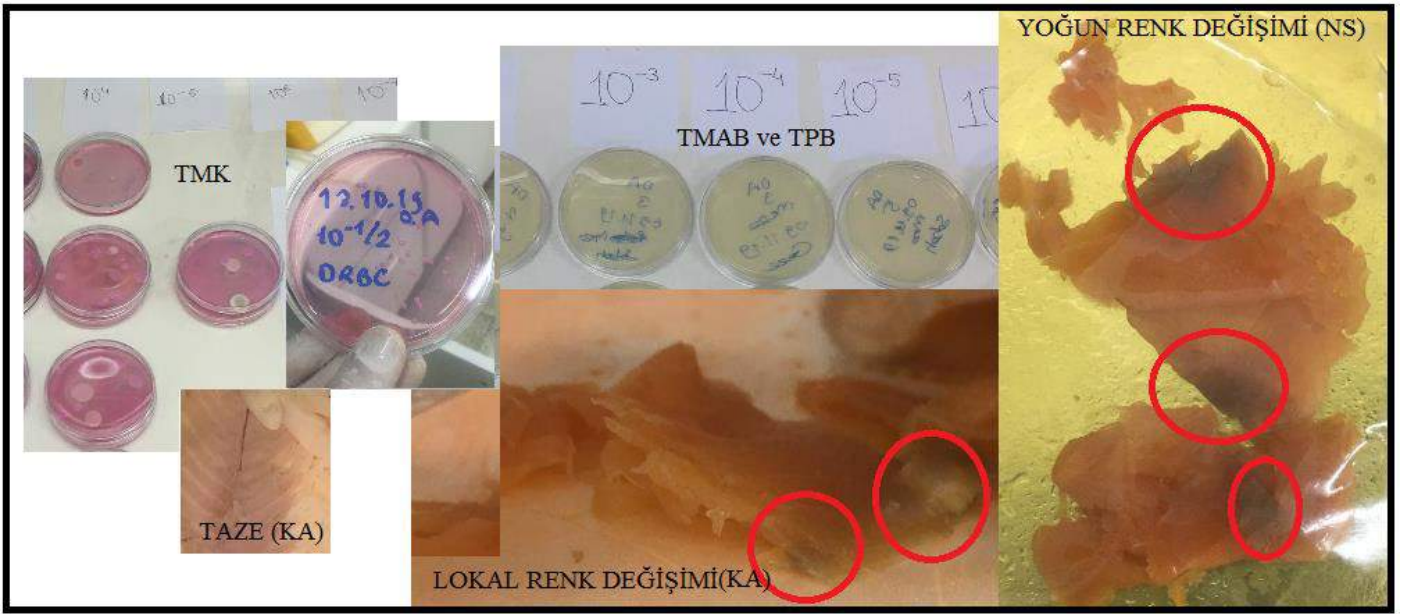
A, B, C, D, E depolama süresine bağlı olarak KA'ya ait örneklerdeki farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu tanımlar ( $p < 0.05$ ).

### 3.1. Toplam Mezofilik Aerobik Bakteri (TMAB) Gelişimi

İki farklı işlenmiş füme ürünün TMAB (0. saat) başlangıç yükü sırası ile NS ve KA örnekleri için 3.29 log KOB/g ve 2.93 log KOB/g olarak tespit edilmiştir. TMAB yükü açısından her iki ürünün de başlangıç bakteri yükünün uygun limitlerde olduğu ve ürünlerin yüksek kalitede olduğu tespit edilmiştir. Literatürde tütsüleme işlemi ile gıda materyali üzerinde önemli düzeyde bakterisidal ve/veya bakteriyostatik aktivitenin ortaya konulabileceği Kolsarıcı ve Güven (1998) tarafından belirtilmiştir. Yani dumanlama işlemi balık eti üzerinde proses öncesinde bulunabilecek bakteriler üzerinde öldürücü ya da en azından bakteri sayısındaki artışı engelleyen bir faktördür. Daha önceki çalışmalara bakıldığında taze balık örneklerinin (çipura (3.78 log KOB/g: Ünal Şengör ve diğ., 2018), levrek (2.92 log KOB/g: Ceylan ve diğ., 2017), alabalık (3.11 log KOB/g: Meral ve diğ., 2019)) TMAB yükünün, çalışmamızda kullanılan füme ürünlerin başlangıç TMAB yüküne logaritmik olarak eşdeğer bulunması dumanın bakterisidal ve/veya bakteriyostatik etkisini göstermektedir. Kaba ve diğ. (2012)'ye göre, balıklara uygulanan dumanlama işleminin TMAB yükünün azaltılmasında etkili olabileceği düşünülmektedir. Ancak dumanın bu etkilerinin ürünün raf ömrünü çok uzatmayacağını ve ürün

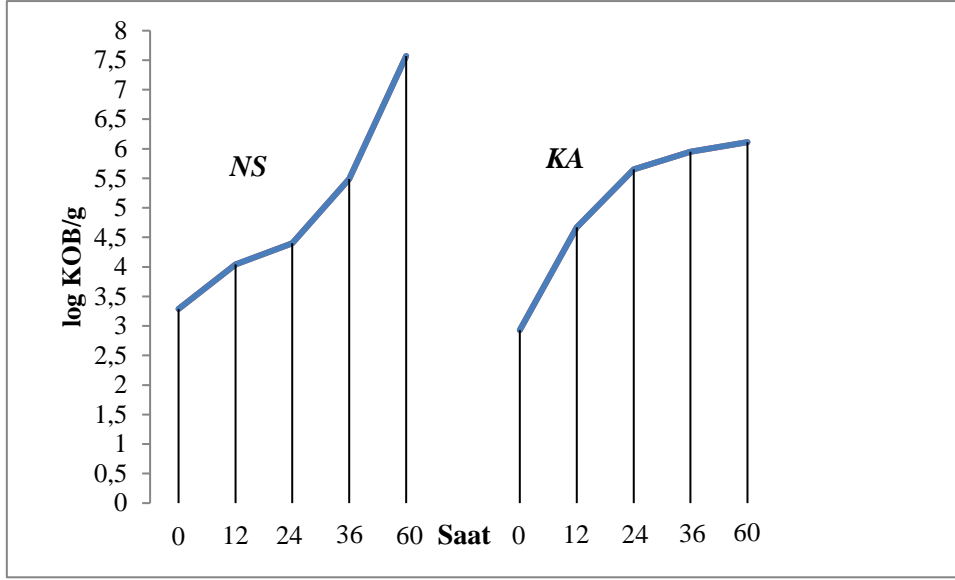


ambalajının tüketici tarafından açılması ile bu etkilerin hızlı bir şekilde ortadan kalktığını sunulan bu çalışma göstermiştir. Öyle ki, depolamanın daha 12. saatinde yapılan analizde NS örneklerinde bu değer 4.04 log KOB/g'a çıktığı ve aynı zamanda bir önceki analiz saatinin sonucuna kıyasla bu farkın istatistiksel olarak da önemli olduğu ( $p<0.05$ ) ortaya konulmuştur. Benzer sonuçlar KA örneklerinin TMAB sayısında da ortaya konulmuş olup burada da bakteri yükü 2.93 log KOB/g'dan 12. saatin sonunda 4.76 log KOB/g'a çıkmıştır ( $p<0.05$ ). Soğuk depolamanın 24. saatinde yapılan analizde ise NS örneklerinin TMAB sayısı 4.40 log KOB/g olarak değerlendirilirken 12. saate kıyasla gruplar arasında istatistiksel bir fark bulunamamıştır ( $p>0.05$ ). Öte yandan, KA örneklerinin TMAB sayısı daha hızlı bir artışla 5.65 log KOB/g değerine ulaşmış olup, bir önceki saatin analiz sonucu ile oluşan farkın istatistiksel olarak önemli olduğu ortaya konulmuştur ( $p<0.05$ ). Dahası depolamanın ilerleyen saatlerinde (36. ve 60. saat) KA örneklerinin ulaştığı değerler arasında istatistiksel bir fark tespit edilmezken, 60. saatte KA örneklerin TMAB sayısı 6.11 log KOB/g değerine ulaşmıştır. KA örneklerine kıyasla, NS ürününde de 36. ve 60. saatlerde yapılan değerlendirmelerde TMAB gelişiminin hızlı bir şekilde devam ettiği ve depolamanın 60. saatinde TMAB sayısının 7.57 log KOB/g değerine ulaştığı tespit edilmiştir. Dahası bu ürünün TMAB yükünün soğuk depolamanın her saatinde artış gösterdiği ve bu artışın her bir analiz saatinde elde edilen sonuçlarda istatistiksel olarak önemli olduğu ortaya konulmuştur ( $p<0.05$ ). Buna göre iki ürünün mikrobiyal yüklerindeki farklılığın ürünlerin kendisinden kaynaklandığı söylenebilir. Ayrıca ürünün et kalınlığı ile mikrobiyal kalite ilişkilendirilebilmektedir. Literatüre bakıldığında da Agbodaze ve diğ. (2005)'e göre et kalınlığının mikrobiyal kalite ile ilişkilendirilebileceği bildirilmiştir (Agbodaze ve diğ., 2005). Ayrıca Şekil 1'den de görülebileceği gibi, özellikle soğuk depolamanın 36. saatinde her iki ürün görsel olarak da tüketilemez olarak tanımlanmıştır. Bu bağlamda TMAB sayısındaki artış ürünü koku ve renk olarak özellikle etkilemiştir.



Şekil 1. Mikrobiyal yüke bağlı olarak KA'da (ortada) ve NS'de (sağda) değişen görsel renk değişimleri.

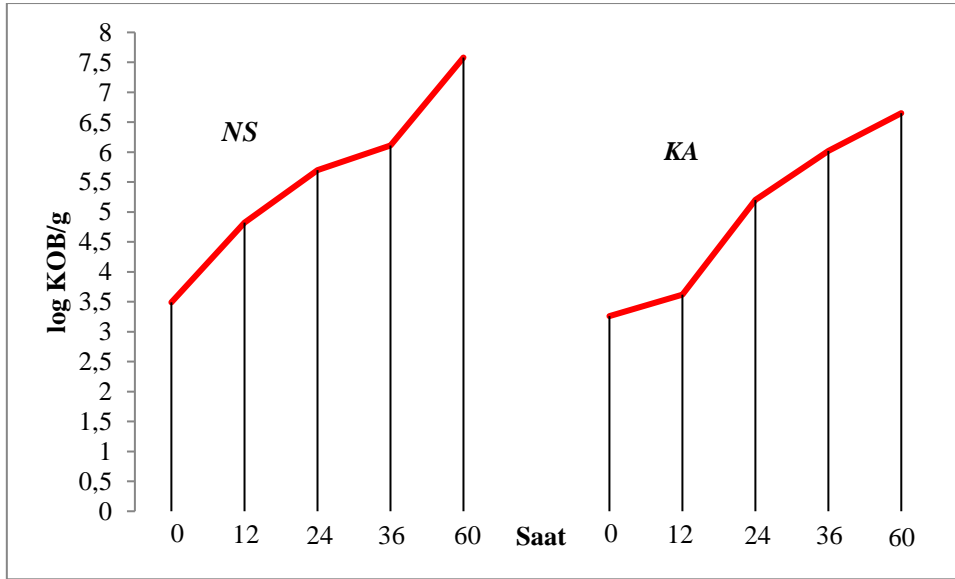
ICMSF (1986) tarafından 6 log KOB/g mezofilik bakteri sayısı genellikle kabul edilebilirlik değerinin sınır değeri olarak tanımlansa da KA'da 5.95 log KOB/g, NS'de ise 5.49 log KOB/g değeri ile ürünlerin inceliği, renk değişimleri ve kokuları bir arada değerlendirildiklerinde ambalajları açıldıktan sonra 36. saat itibari ürünlerin tüketilemeyeceği ortaya konulmuştur. Ancak, Şekil 2'den de görülebileceği üzere, KA için mikrobiyal artış hızı özellikle 0. saatten 12. saate geçişte gerçekleşirken, NS'de ise bu saatteki mikrobiyal yük artışı nispeten daha düşüktür.



Şekil 2. TMAB gelişimi (n=3).

### 3.2. Toplam Psikrofilik Bakteri (TPB) Gelişimi

Her iki üründe de TPB sayısı depolama süresiyle artmıştır. Meral ve diğ. (2019)'a göre balığımsı kokunun oluşumundan ve bozulmadan sorumlu olan psikrofilik bakteriler soğuk muhafaza sıcaklığında da kolay bir şekilde üreyebilmektedir. Bu bağlamda çalışma sonuçlarımıza bakıldığında da NS örneklerinin TPB sayısındaki artış hızı istatistiksel olarak da tüm depolama süreleri arasında önemli bulunmuştur ( $p < 0.05$ ). Özellikle depolamanın 24. saatinde (5.70 log KOB/g) yapılan analiz sonuçlarının 0. analiz saati (3.49 log KOB/g) ile kıyaslandığında artış hızı diğer analiz periyotlarına kıyasla daha yüksek bulunmuştur. NS ve KA örneklerinin başlangıç psikrofilik bakteri yüküne kıyasla, mezofilik bakteri yükü daha düşüktür. Başka bir ifade ile TPB yükü TMAB den daha yüksektir. Bunun sebebi ise çok iyi şartlar altında yapılamayan işleme, ayıklama süreçleri ve sanitasyon koşulları nedeni ile ham materyalin kontamine olabilmesine bağlanmaktadır. Bu durumlarda yüksek psikrofilik bakteri sayısının oluşabileceği Thatcher ve Clark (1978) tarafından da ortaya konulmuştur. Balık etindeki psikrofilik bakteri sayısındaki artış aynı zamanda etteki kötü koku, acı, ransit etkilerden sorumludur (Jay, 2000). Bu bağlamda NS örneklerine göre KA örneklerinde TPB sayısındaki artış hızı eğilimi Şekil 3'ten de görülebileceği üzere daha yavaştır. Bu durum ürünün et kalınlığının NS'ye göre fazla olması, başlangıç yükünün NS örneklerine kıyasla daha düşük olması ile de ilişkilendirilebilir. TPB yönünden çalışma sonuçları göstermiştir ki ambalajı açılan ve soğuk muhafazada saklanan NS ve KA örneklerini tüketicinin özellikle depolamanın ilk 24 saati içinde tüketmesi tavsiye edilir.

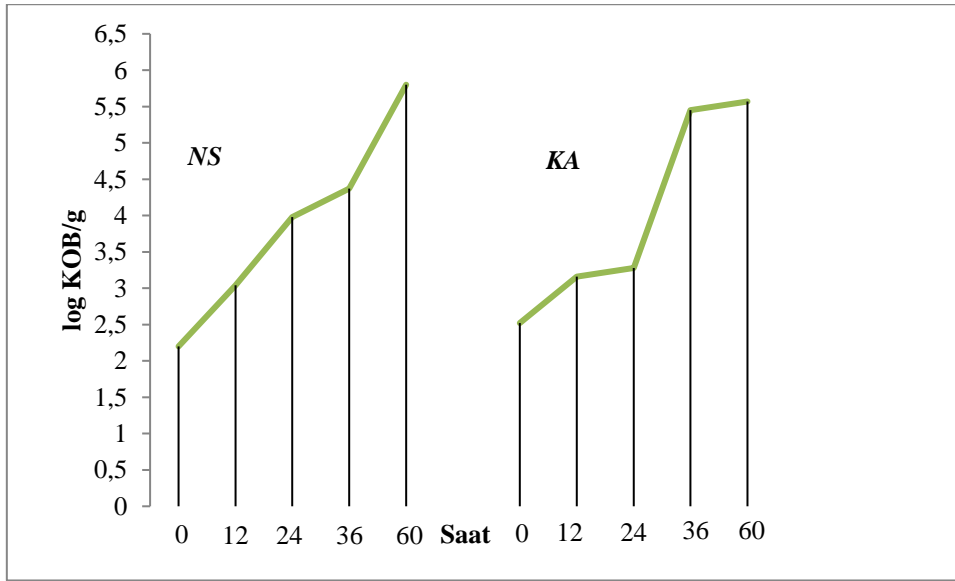


Şekil 3. TPB gelişimi (n=3).

### 3.3. Toplam Maya-Küf (TMK) Gelişimi

Gıda ve gıda materyalleri steril değildir, bu nedenle bakteri ve virüslerin yanı sıra maya ve küfler gıdalarda Stagnitta ve diğ. (2006)'ya göre 5 log KOB/g'ye kadar bulunabilmektedir. Sunulan çalışma sonuçları değerlendirildiğinde TMAB ve TPB yükü 60. saat sonunda 7.57 ve 7.58 log KOB/g değerlerine kadar ulaşabilirken, TMK sayısı ise 60. saat sonunda NS ve KA gruplarında sırası ile e-ISSN: 2148-2683

5.80 ve 5.57 log KOB/g değerlerinde bulunmuştur. Dutta ve diğ. (2018) de soğuk depolama periyodu boyunca füme yapılmış balık etindeki TMK sayısının artış kaydedebileceğini ortaya koymuştur. Ayrıca aynı çalışmada bakteriyel gelişimin yanı sıra tam kontrollü şartlar altında yapılmayan prosesler sonucunda maya-küf gelişiminden dolayı füme yapılmış balık etlerinin tüketilmesi önemli düzeyde sağlık sorunlarına yol açabileceği ortaya konulmuştur. Ayrıca El-Lahamy ve diğ. (2018) tarafından ortaya konulmuştur ki füme işlemi balık etindeki hali hazırda var olan bakteri gelişiminin yanı sıra, maya&küf miktarını önemli düzeyde (2.30 log KOB/g'dan 1.0 log KOB/g'a) düşürebilmektedir. Bu açıdan NS ve KA füme örneklerindeki maksimum TMK sayısının yanı sıra artış hızının en yüksek olduğu saat dilimi bu çalışma ile ortaya konmuştur. Bu sonuçlardan ve Şekil 4'ten de görülebileceği üzere, NS örneklerinde daha yavaş bir artış tespit edilirken, KA örneklerinde özellikle depolamanın 24. saatinden 36. saatine geçiş periyodu arasında önemli düzeyde bir artış kaydedilmiştir. Hatta bu fark istatistiksel olarak da önemli bulunmuştur ( $p<0.05$ ). Ayrıca paketi açılmış örneklerin arasında oluşabilecek TMK miktarlarının ürünlerde kullanılan tuz ve duman konsantrasyonu farklılıklarından veya dumanın ette ne kadar penetre edebildiğine bağlı olarak değişebildiği öngörülmektedir. Bu bağlamda ambalajı açılmış bir füme balık ürününün tüketimine bağlı olarak insan vücuduna geçebilecek MK riskini engellemek adına ürünlerin özellikle 24. saate kadar olan tüketimlerinin daha uygun olabileceği böylece potansiyel sağlık risklerinin daha da azaltılabileceği ortaya konmuştur. Bir başka açıdan ise üreticiler hali hazırda kullandıkları fümeleme yöntemlerine ek olarak Ceylan ve diğ. (2017) tarafından ortaya konulan nanoenkapsüle edilmiş sıvı duman formatı ile kontrollü salınım ve dumanın balık eti üzerinde daha geniş yüzeye temas etme imkânı sağlanmıştır. Böylece, buradaki sunulan çalışma sonuçlarından da anlaşılacağı üzere dumanın etkinliği paket açıldıktan sonra hızlı bir şekilde kaybolmaktadır. Ancak nanokapsüllenen materyal tüketiciye daha uzun süreli aroma sunabilirken, aynı zamanda TMK gelişimini de daha uzun vadede sınırlama imkânı sağlayabilmektedir.



Şekil 4. TMK gelişimi (n=3).

#### 4. Sonuç

Ülkemizde su ürünleri tüketimi düşük olmasına rağmen son yıllarda özellikle işlenmiş balık ürünlerine olan ilginin arttığı bilinmektedir. Bu bağlamda özellikle füme ürünler de yaygın olarak tercih edilmektedir. Bazen tüketici ürünün bir miktarını tüketmekte, ambalajı açılan ürünün kalanını daha sonra tüketmek üzere buzdolabına kaldırmaktadır. Bu bağlamda üründe nasıl ve ne kadar bir mikrobiyal gelişim meydana geldiği bilinmemektedir. Bu çalışma ile Türkiyede büyük marketlerde satışta olan ve iki farklı füme balık ürününün mikrobiyal gelişimi ambalajı açıldıktan sonraki 60. saate kadar izlenmiştir. Sonuç olarak NS örneklerinin TMAB gelişimi 0. saate kıyasla özellikle depolamanın 36. saatinde yüksek oranda artarken, TPB üretimi ise 24. saatte ve TMK sayısındaki artış ise soğuk depolamanın 36. saatinde neredeyse başlangıç yükünü logaritmik olarak ikiye katlamaktadır. KA örneklerinde ise; TMAB gelişimi depolamanın 36. saatinde başlangıç yüküne kıyasla neredeyse iki katı artmıştır. TPB sayısı yine 0. saate kıyasla depolamanın 36. saatinde, TMK gelişimi ise, özellikle depolamanın 36. saatinde başlangıç yüküne kıyasla iki katından fazla artış sergilemiştir. Bu sonuçlar göstermektedir ki tüm mikrobiyal kalite parametreleri bir arada değerlendirildiğinde her iki ürünün de 36. saatten sonra tüketimleri uygun görülmemektedir. En iyi tüketim süresinin ise paketin açılmasını takiben ilk 24 saat içerisinde olması gerektiği tavsiye edilmektedir. Ayrıca bu saat aralığından sonra füme ürün aroması da hızlı bir şekilde ürünü terk etmektedir ve ürün zaten özelliğini de kaybedebilmektedir.

#### 5. Teşekkür

Bu çalışma İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyonu Birimi tarafından desteklenen Doç. Dr. Filiz ALTAY'ın yürütücüsü, Turgay ÇETİNKAYA ve Dr. Öğr. Üyesi Zafer CEYLAN'ın araştırmacısı olduğu MDK-2019-42144 numaralı projenin kurgulanmasına yönelik bir ön deneme çalışmasıdır. Bu bakımdan yazarlar proje yürütücüsünün bilgileri dahilinde gerçekleştirilen bu çalışma için Doç. Dr. Filiz ALTAY'a ve İTÜ BAP Birimi'ne teşekkür eder.

## Kaynakça

- Agbodaze, D., Nmai, P. N. A., Robertson, F. C., Yeboah-Manu, D., Owusu-Darko, K., & Addo, K. K. (2005). Microbiological quality of "khebab" consumed in the Accra metropolis. *Ghana medical journal*, 39(2), 46-49.
- Anon, 2005, Merck Gıda Mikrobiyolojisi Uygulamaları Sayfa 358. Ed: A.K. Halkman, Başak Matbaacılık Ltd Şti Ankara.
- Ceylan, Z., & Şengör, G. (2015). Dumanlanmış Su Ürünleri ve Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAH's). *Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi*, (15).
- Ceylan, Z., Sengor, G. F. U., Sağdıç, O., & Yilmaz, M. T. (2017). A novel approach to extend microbiological stability of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fillets coated with electrospun chitosan nanofibers. *LWT-Food Science and Technology*, 79, 367-375.
- Ceylan, Z., Sengor, G. F. U., & Yilmaz, M. T. (2017). A novel approach to limit chemical deterioration of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) fillets: Coating with electrospun nanofibers as characterized by molecular, thermal, and microstructural properties. *Journal of food science*, 82(5), 1163-1170.
- Ceylan, Z., & Unal, K. (2019). The Effect of Different Thawing Methods on Quality Parameters of Frozen Mussels and Shrimp Meats. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7(6), 927-933.
- Dutta, M., Majumdar, P. R., & Islam RUI, S. D. (2018). Bacterial and Fungal Population Assessment in Smoked Fish during Storage Period. *J Food Microbiol Saf Hyg*, 3(127), 2476-2059.
- El-Lahamy AA, El-Sherif SA, Khalil KI, Mahmud AA (2018) Effect of Smoking Methods and Refrigeration Storage on Microbiological Quality of Catfish Fillets (*Clarias gariepinus*). *J Food Ind Microbiol* 4: 127. doi:10.4172/2572-4134.1000127.
- Ertaş, A.H. (1998). Tütsünün Bilesimi. *Gıda Teknolojisi*, 23 (3): 177-185.
- Getu, A., Misganaw, K., & Bazezew, M. (2015). Post-harvesting and major related problems of fish production. *Fisheries and Aquaculture Journal*, 6(4).
- Gökten, D. (1990). Gıdaların Mikrobiyal Ekolojisi-Et Mikrobiyolojisi. *Cilt I, Ege Üniv., Basımevi, Bornova, İzmir*.
- ICMSF, 1986, International commission on microbiological specifications for foods, sampling plans for fish and shellfish. In: ICMSF, Microorganisms in foods. Sampling for microbiological analysis: Principles and scientific applications (2nd Edition). University of Toronto Press, Toronto, Canada, 181-196.
- İnal, T., "Besin hijyeni hayvansal gıdaların sağlık kontrolü", Final Ofset A.Ş. (Genişletilmiş 2. baskı), İstanbul, 345-592 (1992).
- Jay, J. M. (2000). Food preservation with modified atmospheres. 283: 205. INDR Hoidnian led. Modern Food Microbiology.
- Kaba, N., Özer, Ö., & Corapçı, B. (2012). The determination of some quality parameters of smoked gar fish meat balls. *Journal of FisheriesSciences. com*, 6(4), 357-367.
- Kolsarıcı, N., & Güven, T. (1998). The effects of using liquid smoke on storage stability of frankfurters. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 22(4), 379-388.
- Küçüköner, E., & Küçüköner, Z. (1990). Balık mikroflorası ve balıklarda meydana gelen mikrobiyal değişimler. *GIDA*, 15(6).
- Külcü, D. B. (2017). Farklı sıcaklıklarda muhafaza edilen palamut (sarda sarda) balığının bazı kimyasal kalite niteliklerinin belirlenmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. Doi, 10*.
- Masette M. 1999. A comparative study of storage tissue of warm and cold water fish in view of the current market demands. A PhD thesis, United Nations University, UNU- Fisheries training programme.
- Maturin, L. J., & Peeler, J. T. (1998). Aerobic plate count. Ch. 3. *Food and Drug Administration Bacteriological Analytical Manual*, 8.
- Meral, R., Ceylan, Z., & Kose, S. (2019). Limitation of microbial spoilage of rainbow trout fillets using characterized thyme oil antibacterial nanoemulsions. *Journal of Food Safety*, 39(4), e12644.
- Özkaya, F. D., & Cömert, M. (2008). Gıda zehirlenmelerinde etken faktörler. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 65(3), 149-158.
- Ringø, E., & Strøm, E. (1994). Microflora of Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L.): gastrointestinal microflora of free-living fish and effect of diet and salinity on intestinal microflora. *Aquaculture Research*, 25(6), 623-629.
- Stagnitta, P. V., Micalizzi, B., Guzmán, D., & Stefanini, A. M. (2006). Prevalence of some bacteria yeasts and molds in meat foods in San Luis, Argentina. *Central European journal of public health*, 14(3).
- Stołyhwo, A., & Sikorski, Z. E. (2005). Polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked fish—a critical review. *Food Chemistry*, 91(2), 303-311.
- Thatcher, F.S. and Clark, D.S. 1978. Microorganisms in foods. ICMSF Academic Press, New York.
- Ünal Şengör, G. F., Balaban, M. O., Ceylan, Z., & Doğruyol, H. (2018). Determination of shelf life of gilthead seabream (*Sparus aurata*) with time temperature indicators. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(2), e13426.
- Yurchenko, S., & Mölder, U. (2005). The determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked fish by gas chromatography mass spectrometry with positive-ion chemical ionization. *Journal of Food Composition and Analysis*, 18(8), 857-869.





# Bazı Penisilinlerin Farmasötik Dozaj Formlarından Voltametrik Tayinleri

Sabriye Perçin Özkorucuklu<sup>1\*</sup>, Mehmet Sarı<sup>2</sup>, Gizem Yıldırım Baştemur<sup>3</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, 34134, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9778-2034)

<sup>2</sup>Stüleyman Demirel Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9963-270X)

<sup>3</sup>İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Moleküler Biyoloji ve Genetik Programı, 34134, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4634-4525)

(İlk Geliş Tarihi 22 Kasım 2019 ve Kabul Tarihi 19 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.649740)

**ATIF/REFERENCE:** Özkorucuklu, S. P., Sarı, M. & Baştemur, G. Y. (2019). Bazı Penisilinlerin Farmasötik Dozaj Formlarından Voltametrik Tayinleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 989-994.

## Öz

Diferansiyel puls voltametri ile ilaç analizleri ilaç endüstrisinde, klinik analizlerde ve biyosensör tasarımında kullanımı giderek artan oldukça yararlı bir tekniktir. Bu teknik diğer analitik yöntemlere alternatif ve tamamlayıcıdır. Basit, hızlı, duyarlı ve seçici olması, uzun ve zaman alıcı ayırma basamaklarına ihtiyaç duymaması gibi nedenlerden dolayı da diğer analitik tekniklerden ayrılmaktadır. Bu çalışmada antibiyotik tedavisinde kullanılan ampisilin ve penisilin V bileşiklerinin kalem ucu grafit elektrot yüzeyindeki elektrokimyasal davranışları diferansiyel puls voltametri yöntemiyle incelenmiştir. Bileşiklerin elektrokimyasal davranışları üzerine destek elektrolit ve pH'nın etkileri belirlenmiştir. Ampisilin ve penisilin V için kalibrasyon grafikleri sırasıyla  $2,0 \cdot 10^{-5}$  -  $2,0 \cdot 10^{-4}$  M ve  $5,0 \cdot 10^{-4}$  -  $1,0 \cdot 10^{-2}$  M derişim aralığında lineerdir ve dedeksiyon limitleri (LOD)  $4,05 \cdot 10^{-7}$  ve  $3,07 \cdot 10^{-5}$  M olarak bulunmuştur. Geliştirilen yöntem ilaç etken maddelerin farmasötik dozaj formlarından miktar tayinlerine uygulanmış ve yöntemin geri kazanım değerlerinin % 100'e yakın olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ampisilin, Penisilin V, İlaç analizi, Kalem ucu grafit elektrot, Diferansiyel puls voltametri.

## Voltammetric Determinations of Some Penicillins in Pharmaceutical Dosage Forms

### Abstract

Drug analysis by differential pulse voltammetry is quite a useful technique which is increasingly used in pharmaceutical industry, clinical analysis and design of biosensor. It is an alternative or complimentary to other analytical methods. This technique is also separated from other analytical techniques due to it's simple, rapid, sensitive, selective and without the need for long and time-consuming separation steps. In this study, electrochemical behaviors of ampicillin and penicillin V used in treatment of antibiotic were investigated on pencil graphite electrode by differential pulse voltammetry method. Effects on electrochemical behavior of supporting electrolyte and pH were determined. The calibration graphs were linear in the ranges of  $2.0 \cdot 10^{-5}$  –  $2.0 \cdot 10^{-4}$  M ve  $5.0 \cdot 10^{-4}$  –  $1.0 \cdot 10^{-2}$  M and detection limits (LOD) were found as  $4.05 \cdot 10^{-7}$  ve  $3.07 \cdot 10^{-5}$  M, for ampicillin and penicillin V, respectively. The developed method was applied to the quantification of pharmaceutical active compounds from pharmaceutical dosage forms and recovery values of the method were determined which is quite close to 100 %.

**Keywords:** Ampicillin, Penicillin V, Drug analysis, Pencil graphite electrode, Differential pulse voltammetry.

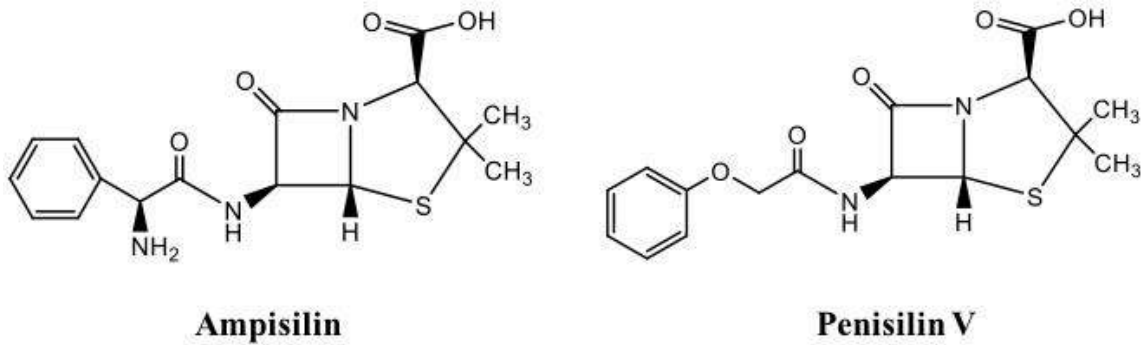
\* Sorumlu Yazar: İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, 34134, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0001-9778-2034, [sabriyeo@istanbul.edu.tr](mailto:sabriyeo@istanbul.edu.tr)



## 1. Giriş

Antibiyotikler, tüm tıp tarihinde mucize ilaçlar olarak kabul edilebilecek nadir ilaçların başında gelmektedirler. Bu özellikleri nedeni ile antibiyotikler, tüm dünyada en yaygın kullanılan ilaçların arasında yer almaktadır [Akalm,1994]. Antibiyotikler, bakteri veya mantarlar tarafından sentezlenen, diğer mikroorganizmaların gelişimini engelleyen ve sonuçta onların ölümüne yol açan maddelerdir. Bugüne kadar yüzlerce antibiyotik tanımlanmış olup bunların önemli bir bölümü geliştirilerek enfeksiyon hastalıklarının tedavisinde kullanılmaktadır [Yanmaz, 2010]. Beta-laktam ( $\beta$ -laktam) antibiyotikler, gerek hastane içinde gerekse hastane dışında en sık kullanılan antibiyotik türevlerinin başında gelmektedir [Gökahmetoğlu, 1997].  $\beta$ -laktam grubu antibiyotiklerden en çok bilinen grup olan penisilinler, bakteri ve mantar enfeksiyonlarını önlemek için veterinerlik ve tıbbi ilaç uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadırlar [Svorc vd., 2012a].

Ampisilin yarı sentetik bir penisilindir (Şekil 1). Ampisilin, penisilin notatum ve penisilin chrysogenum'un çeşitli suşları kullanılarak biyosentetik süreç ile hazırlanan benzilpenisilin veya penisilin G'den üretilmektedir. Ampisilin doğada asidiktir ve bakteriyel hücre duvarının protein sentezinin inhibesinde rol oynar [Khan vd., 2015]. Penisilin V ve onun potasyum tuzu, küçük spektrumlu  $\beta$ -laktam antibiyotikler grubuna aittir (Şekil 1). Penisilin V, hücre duvarı mukopeptidinin biyosentez inhibisyonu boyunca rol oynar [Medvedovici vd., 2002].



Şekil 1. Çalışılan bileşiklerin kimyasal yapıları

İlaç analizlerinde kromatografik ve spektrometrik yöntemlere alternatif yöntem olarak nitelendirilen modern voltametri, bu yöntemlerle yarışmalı olmaktan çok onları tamamlayıcı niteliktedir. Pek çok ilaç etken maddesi ve vücutta bulunan fizyolojik aktif maddeler voltametrik ve polarografik yöntemlere cevap vermektedir. Bu yöntemlerin eczacılık alanında ve klinik çalışmalarda yaygın olarak kullanılmasının nedeni düşük derişimlerde farmasötik analizlerin yapılabilmesi, numunelerin kolayca ve çok kısa bir sürede hazırlanabilmesi, analiz süresinin kısa olması, ortamda bulunan katkı maddelerinin veya safsızlıkların analiz sonucunu etkilememesidir. Tablet, kapsül, süspanسیون, şurup vb. ilaç formülasyonlarının çözünmeyen kısımlarının veya katkı maddelerinin elektroaktiviteleri bulunmadığı için herhangi bir ayırma işlemine gerek olmadan analizleri yapılabilir [Altınöz Erdoğan, 2011; Perçin Özkorucuklu vd., 2008; Özcan vd., 2008; Gürler vd., 2008]. Voltametrik yöntemler arasında diferansiyel puls voltametri günümüzde ilaç endüstrisi, klinik analizleri, çevre analizleri ve biyosensör tasarımları da dâhil olmak üzere pek çok alanda kullanılmaktadır [Lima vd., 2014; Aydogdu vd., 2014; Das vd., 2014].

Bu çalışmada, penisilin grubu bileşiklerinden ampisilin ve penisilin V'nin elektrokimyasal davranışları, kalem grafit elektrot yüzeyinde diferansiyel puls voltametri (DPV) yöntemiyle incelenmiştir. Farklı tampon ve pH değerlerinde elde edilen sonuçlar değerlendirilerek her bir bileşik için optimum koşullar belirlenmiştir. Bu etken maddelerin farmasötik örneklerdeki tayinleri belirlenen optimum koşullarda gerçekleştirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Deneylerde kullanılan tüm kimyasal maddeler analitik veya HPLC saflıktadırlar. Deneylerin tamamında direnci 18 M $\Omega$  cm olan deiyonize su kullanılmıştır. Elektrokimyasal ölçümler GPES 4.9 yazılım programlı, Autolab Potansiyostat/ Galvanostat PGSTAT-302N cihazı kullanılarak üç elektrot sistemli elektrokimyasal hücrede gerçekleştirilmiştir. Karşıt elektrot olarak platin tel, referans elektrot olarak sulu Ag/AgCl ve çalışma elektrodu olarak da karbon bazlı kurşun kalem ucu (0,7 mm çaplı, 2B) kullanılmıştır. Tampon çözeltilerin pH ölçümleri Mettler Toledo S220 Seven Compact pH/iyon metre ve Mettler Toledo InLab 416 Ag/AgCl kombine elektrot kullanılarak yapılmıştır. Çözeltilerin hazırlanmasında ve elektrotların temizlenmesinde ultrasonik banyo (Elmasonic S15) kullanılmıştır.

## 2.1 Kullanılan Çözeltiler

Penisilin grubu bileşiklerin pik gerilimleri ve akımları üzerine pH'nın etkisi, 0,2 M asetat (pH 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6), 0,2 M fosfat (pH 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8) ve geniş pH aralığında çalışma imkânı sağlayan 0,04 M Britton-Robinson tampon (pH 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11) çözeltilerinde incelenmiştir. Ampisilin ve penisilin V'nin 0,1 M stok çözeltileri olarak hazırlanmış ve +4 °C'de saklanmıştır. Ampisilin tayini için Ampisina (Mustafa Nevzat) isimli ilaç örneğinden 4 tablet alınıp tartıldıktan sonra havanda ezilerek toz haline getirilmiş ve manyetik karıştırıcıda pH'sı 5,0 olan 0,2 M asetat tamponunda çözülerek hacim 20 mL'ye tamamlanmıştır. Daha sonra süzülerek süzüntü +4 °C'de saklanmıştır. Hazırlanan ampisilin çözeltisinin derişimi yaklaşık 20 mM'dir. Penisilin V'nin tayininde kullanılan PEN-OS 1000 (Sandoz) ilaç örneğinden 4 tablet alınmış, havanda ezilerek toz haline getirilmiş ve pH'sı 6,0 olan Britton-Robinson tamponunda çözülerek hacmi 25 mL'ye tamamlanmıştır. Bu çözelti süzülerek +4 °C'de saklanmıştır. Penisilin V'nin çözeltisinin derişimi yaklaşık olarak 25 mM'dir.

## 2.2 Penisilinlerin Elektrokimyasal Davranışları Üzerine pH Etkisinin İncelenmesi

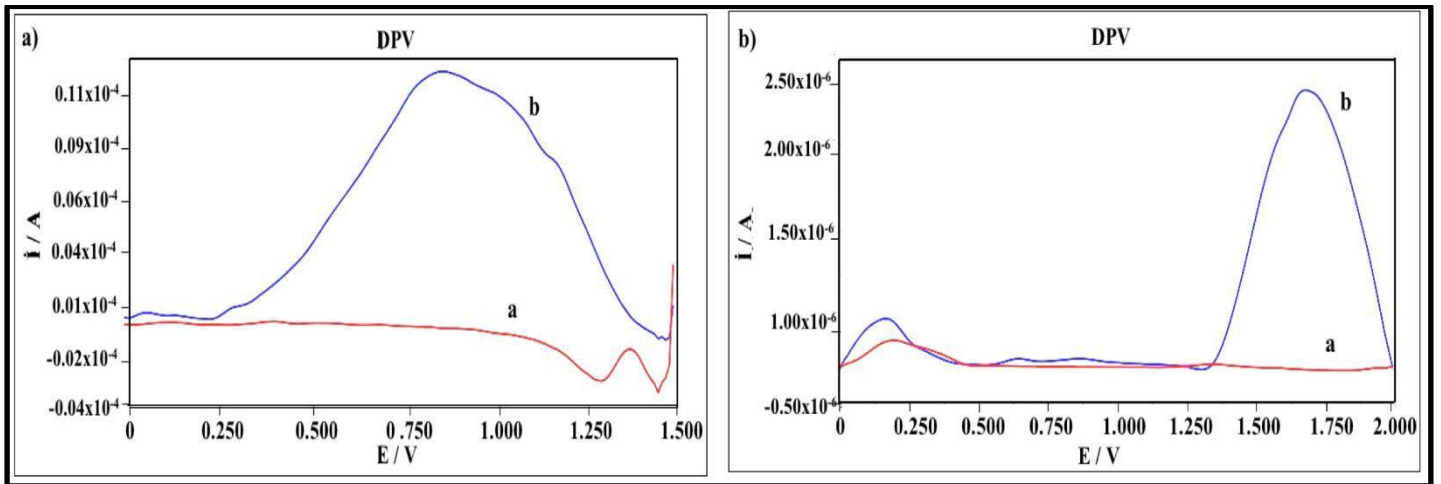
Çalışılan penisilin grubu antibiyotiklerin elektrokimyasal davranışları, farklı pH değerlerinde hazırlanan asetat, fosfat ve Britton-Robinson tampon çözeltilerinde kalem ucu grafit elektrot kullanılarak diferansiyel puls voltametri (DPV) yöntemi ile belirlenmiştir. Penisilin çözeltileri ilave edilmeden önce kalem ucu grafit elektrodu ile tüm tampon çözeltilerinde diferansiyel puls voltamogramları 5'er kez alınarak boş çözelti davranışları belirlenmiş ve sonrasında çalışılan tampon ortamlarında hazırlanan ampisilin ve penisilin V stok çözeltilerinden elektrokimyasal hücreye eklenerek DP voltamogramları kaydedilmiştir. Voltamogramlar karşılaştırılarak bileşiklere ait pikler belirlenmiştir. Tüm diferansiyel puls ölçümleri 0,0 V ile +2,0 V gerilim aralığında 5'er kez alınmış ve elde edilen voltamogramlardan ortalama pik akımları ve gerilimleri belirlenmiştir. Bileşiklere ait pik akım ve gerilimlerinin Britton-Robinson, asetat ve fosfat tamponlarındaki değişimleri incelenmiştir.

## 2.3 Farmasötik Numunelerde Ampisilin ve Penisilin V'nin Elektrokimyasal Tayini

Ampisilin ve penisilin V'nin elektrokimyasal davranışlarının incelenmesi sonucunda bileşiklere ait yükseltgenme pik akımlarının maksimum olduğu çözeltiler belirlenmiştir. Bu çözeltide kalem ucu grafit elektrodu kullanılarak ampisilin için 0,02–0,20 mM, penisilin V için 0,5–10 mM derişim aralığında DPV yöntemi ile ölçülen yükseltgenme pik akımları grafiğe geçirilerek kalibrasyon grafikleri elde edilmiştir. Daha sonra kalibrasyon doğrusu aralığında bulunan derişimlerde seyreltilmiş ilaç örnekleri, tampon çözelti içerisine ilave edilmiş ve farmasötik numunedeki ampisilin ve penisilin V, kalem ucu grafit elektrot kullanılarak DPV yöntemi ile tayin edilmiştir.

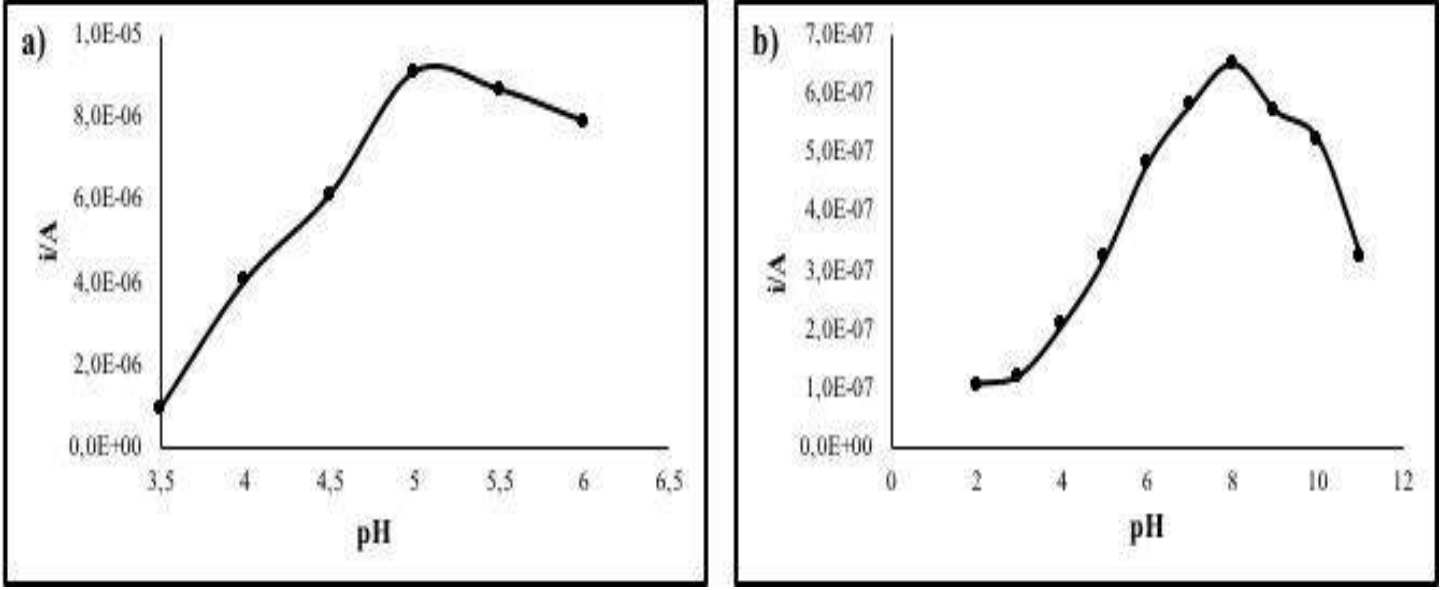
## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Kalem ucu grafit elektrot ile çalışılan tampon çözelti içerisine çalışılan bileşiğin ilave edilmeden önce (a) ve ilave edildikten sonra (b) alınan diferansiyel puls voltamogramları karşılaştırılarak bileşiklerin yükseltgenme gerilimi belirlenmiştir. Ampisilin için yükseltgenme gerilimi yaklaşık +0,90 V (Şekil 2a), penisilin V için yaklaşık +1,70 V (Şekil 2b) olarak bulunmuştur.



Şekil 2. a) Ampisilin bulunmayan ve 0,2 mM ampisilin içeren b) Penisilin V bulunmayan ve 5,0 mM penisilin V içeren çözeltide alınan DP voltamogramlarının karşılaştırılması

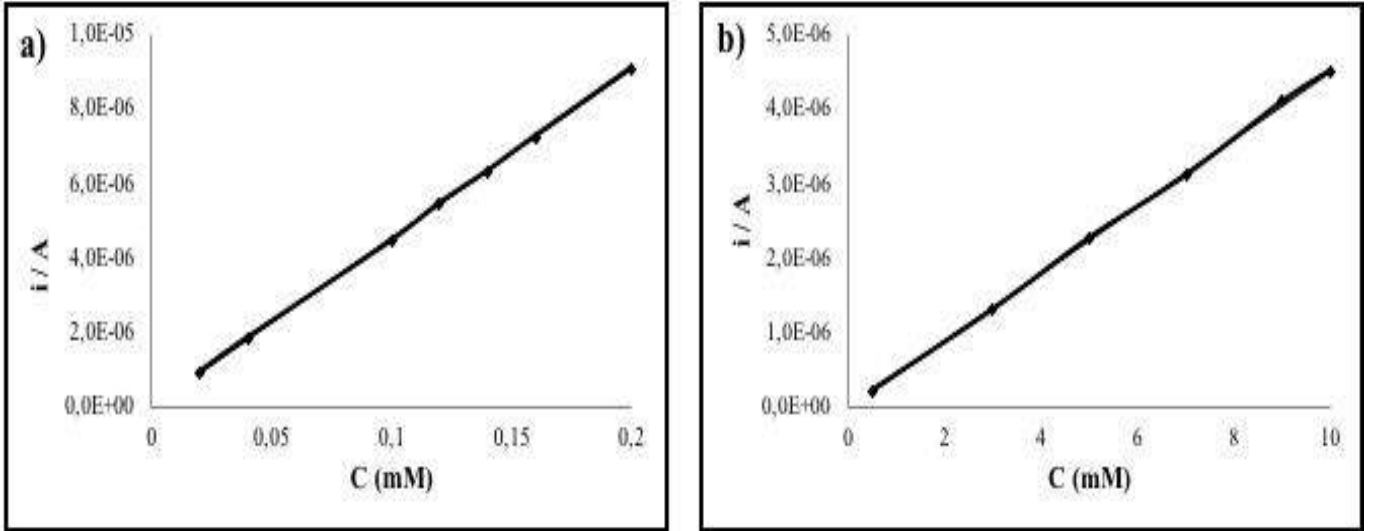
Bileşiklerin elektrokimyasal davranışı üzerine pH'nın etkisi farklı pH aralıklarında hazırlanan asetat, fosfat ve Britton-Robinson tampon çözeltilerinde incelenmiştir. En yüksek akım değeri ampisilin için pH 5,0 asetat tamponunda (Şekil 3a), penisilin V için pH 8,0 Britton-Robinson tampon çözeltisinde (Şekil 3b) elde edilmiştir.



Şekil 3. a) 0,2 mM ampisilin asetat tamponunda pH-akım grafiği b) 1,0 mM penisilin V'nin Britton-Robinson tamponunda pH-akım grafiği

Penisilin V için en yüksek yükseltgenme akım değeri, pH 8,0 Britton-Robinson tampon çözeltisinde gözlenmesine rağmen pH 6,0 Britton-Robinson tamponunda elde edilen voltamogramlarda daha keskin pikler ve tekrarlanabilir akım değerleri elde edilmesinden dolayı penisilin V'nin farmasötik numunedeki analizi bu ortamda gerçekleştirilmiştir.

Ampisilin analizi için pH 5,0 asetat tamponunda 0,02 mM ile 0,20 mM aralığındaki yedi farklı ampisilin derişimlerine karşı elde edilen pik akımları grafiğe geçirildiğinde; bu grafiğin lineer olduğu ( $R^2=0,9998$ ) görülmüştür (Şekil 4a). Elde edilen doğrusal kalibrasyon fonksiyonunun korelasyon katsayısının 1'e çok yakın olduğu gözlenmiştir. Penisilin V'nin kalibrasyon fonksiyonunun doğrusal aralığının belirlenmesinde 0,5 mM ile 10,0 mM arasında pH 6,0 Britton-Robinson tamponunda farklı derişimlerde çözeltiler hazırlanmıştır. Penisilin V için bu konsantrasyonlar aralığında altı noktali kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur. Penisilin V derişimlerine karşı pik akım değerleri grafiğe geçirildiğinde lineer bir doğru ( $R^2=0,9996$ ) elde edilmiştir (Şekil 4b).



Şekil 4. DPV ile a) ampisilin (pH 5,0 asetat tamponu 0,02-0,20 mM derişim aralığı) ve b) penisilin V'ye (pH 6,0 Britton-Robinson tamponu 0,5-10,0 mM derişim aralığı) ait yükseltgenme akımları

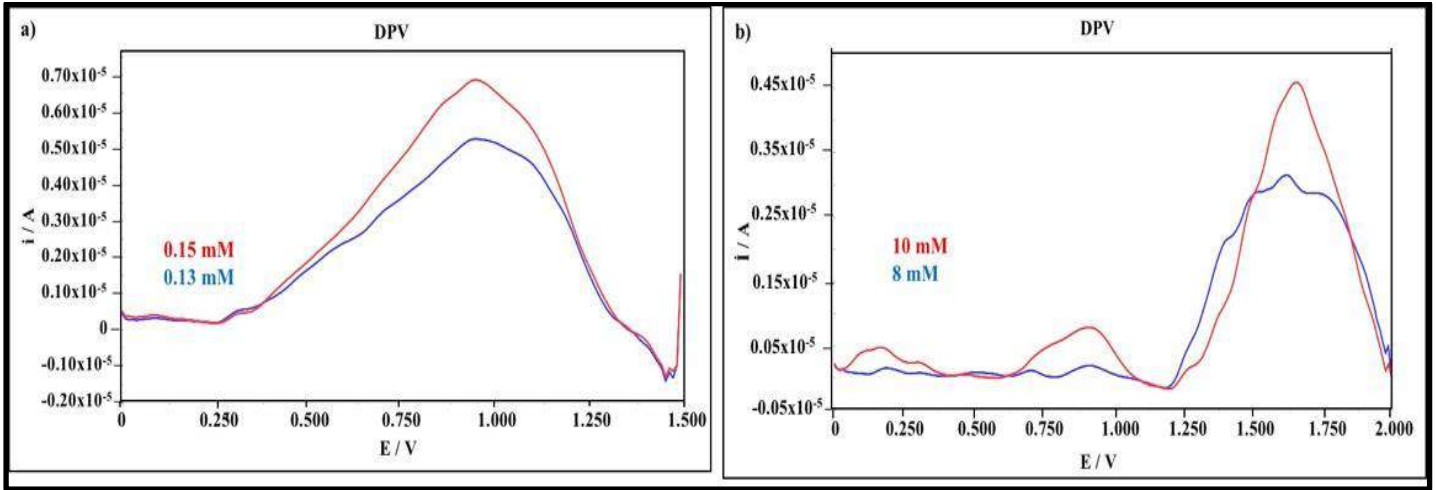
Belirlenen optimum ortamlardaki ampisilin ve penisilin V derişimi ve akım cevapları arasındaki doğrusal ilişkidir gözlenebilir (LOD) ve kantitatif tayin (LOQ) sınırları hesaplanmış (S/N=3) ve Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Ampisilin ve penisilin V için LOD ve LOQ değerleri

Bileşik	LOD	LOQ
Ampisilin	$4,05 \cdot 10^{-7}$ M	$1,35 \cdot 10^{-6}$ M
Penisilin V	$3,07 \cdot 10^{-5}$ M	$1,02 \cdot 10^{-4}$ M

Ampisilin ve penisilin V için yapılan çalışmalar incelendiğinde tayin limitlerinin penisilin V için  $1,5 \cdot 10^{-5}$  M ile  $5 \cdot 10^{-8}$  M aralığında, ampisilin için ise  $1,66 \cdot 10^{-5}$  M civarında bulunduğu görülmüştür [Svorc vd., 2012a; Bergamini vd., 2006; Chen vd., 2010; Svorc vd., 2012b]. Çalışmalarımızda bu bileşikler için elde edilen tayin limitleri literatür verilerine yakın değerlerde olduğu belirlenmiştir [Sarı, 2013].

Ampisina isimli farmasötik numunedeki ampisilin ve PEN-OS 1000 isimli farmasötik numunedeki penisilin V’nin tayini kalem ucu grafit elektrot kullanarak diferansiyel puls voltametri yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Numune analizi, en yüksek yükseltgenme akımının elde edildiği; ampisilin için pH 5,0 asetat tamponunda, penisilin V için pH 6,0 Britton-Robinson tampon çözeltisinde yapılmıştır. Tabletlerin çözülmesi ile hazırlanan çözeltiler, kalibrasyon doğrusu aralığına giren ampisilin (Şekil 5a) ve penisilin V (Şekil 5b) derişimlerine seyreltilmiştir.



Şekil 5. a) Ampisina farmasötik numunenin 0,13 mM ve 0,15 mM ampisilin derişimleri b) PEN-OS 1000 farmasötik numunenin 8,0 mM ve 10,0 mM penisilin V derişimleri için alınan DP voltamogramları

Ampisilin ve penisilin V içeren ilaç tabletlerinde yapılan analizlerde elde edilen geri kazanım ve bağıl standart sapma (BSS) değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Elektrokimyasal ve kromatografik yöntemlerle penisilin V ve ampisilin içeren ilaçların analizlerinin gerçekleştirildiği çalışmalarda geri kazanım değerleri her iki bileşik için % 85-102 aralığındadır [Svorc vd., 2012a; Benito-Pena vd., 2009]. Yaptığımız çalışmada ampisilin ve penisilin V için geri kazanım değerleri sırasıyla % 91,6 ve % 101,5 olarak bulunmuştur ve bu sonuçlar literatürler ile uyumludur.

Tablo 2. Çalışılan farmasötik numunelerin analiz sonuçları

Numune	Tablet Derişimi	Tayin Edilen Derişim	% BSS	Geri Kazanım
Ampisina	$5 \cdot 10^{-5}$ M	$4,58 \cdot 10^{-5}$ M	0,79	% 91,6
PEN-OS 1000	$6 \cdot 10^{-3}$ M	$6,09 \cdot 10^{-3}$ M	0,83	% 101,5

#### 4. Sonuç

Yapılan literatür taramasında penisilin grubu bileşiklerin elektrokimyasal davranışlarının incelendiği ve voltametrik tayinlerin yapıldığı az sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Bu çalışmalarda [N,N’-etilenbis(salisilidenaminato)]oksovanadyum(IV), [VO(Salen)] ile modifiye edilmiş karbon pasta elektrot, yüzeyinde multi-duvarlı karbon nanotüp ile hematein ve  $\beta$ -laktamazın ko-immobilizasyonunu içeren camsi karbon elektrot, modifiyesiz bor katkılı elmas elektrotlar kullanılmıştır [Svorc vd., 2012a; Altınöz Erdoğan, 2011; Perçin Özkorucuklu vd., 2008; Özcan vd., 2008]. Bu elektrotların maliyeti yüksek ve hazırlanması zaman alıcıdır. Bu çalışmada çalışma e-ISSN: 2148-2683

elektrotu olarak yüksek elektrokimyasal reaktivitesi, mekanik dayanıklılığı, düşük maliyet ve teknoloji gerektirmesi, minyatüleştirme ve yenilenmesinin kolaylığı nedeniyle pek çok analitik uygulamada tercih edilen kalem grafit elektrot kullanılmıştır. Bu elektrodun aktif yüzey alanı fazladır ve düşük derişimlerdeki analitlerin tayininde avantaj sağlamaktadır.

Bu çalışmada ampisilin ve penisilin V'nin elektrokimyasal davranışları farklı destek elektrolit ve farklı pH'larda hazırlanan çözeltilerde kalem ucu grafit elektrot kullanılarak diferansiyel puls yöntemi ile incelenmiştir. Ampisilin ve penisilin V'nin standart ve farmasötik örneklerde tayinleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ampisilin ve penisilin V tayininde kromatografik ve optik yöntemlere alternatif bir yöntem olarak kalem grafit elektrodun kullanıldığı hızlı, kolay, duyarlı ve herhangi bir ayırma işlemine gerek duyulmayan diferansiyel puls voltmetri yönteminin kullanılabilirliğini göstermiştir [Sarı, 2013]. Kullanılan yöntem basit ve malzemelerin maliyeti düşüktür. Bu yönüyle ticari açıdan önemli bir etken olan düşük maliyetli tayinlerin yapılmasını mümkün kılmaktadır.

## Teşekkür

Bu çalışma 3400-YL1-12 numaralı Süleyman Demirel Üniversitesi BAP Lisansüstü Tez projesi kapsamında desteklenmiştir.

## Kaynakça

- Akalın, H.E. (1994), Antibiyotik tedavisinde temel ilkeler, *Klinik uygulamada antibiyotikler ve diğer antimikrobiyal ilaçlar*, Güneş Kitabevi, Ankara, s. 1-9.
- Altınöz Erdoğan, D. (2011), *Bazı depresan ilaç etken maddelerin tayini için elektrokimyasal yöntemler geliştirilmesi ve bunların analitik uygulamaları*, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 131s.
- Aydogdu, G., Gunendi, G., Zeybek, D.K., Zeybek, B., Pekyardımcı, S. (2014), A novel electrochemical DNA biosensor based on poly-(5-amino-2-mercapto-1,3,4-thiadiazole) modified glassy carbon electrode for the determination of nitrofurantoin, *Sensors Actuators B-Chemical*, 197, 211-219.
- Benito-Pena, E., Urraca, J.L., Moreno-Bondi, M.C. (2009), Quantitative determination of penicillin V and amoxicillin in feed samples by pressurised liquid extraction and liquid chromatography with ultraviolet detection, *Journal of Pharmaceutical Biomedical Analysis*, 49, 289-294.
- Bergamini, M.F., Teixeira, M.F.S., Dockal, E.R., Bocchi, N., Cavalheiro, É.T.G. (2006), Evaluation of different voltammetric techniques in the determination of amoxicillin using a carbon paste electrode modified with [n,n'-etilenbis(salisilidenaminato)]oksovanadyum(IV), *Journal Electrochemical Society*, 153, E94-E98.
- Chen, B., Ma, M., Su, X. (2010), An Amperometric penicillin biosensor with enhanced sensitivity based on co-immobilization of carbon nanotubes, hematein and  $\beta$ -lactamase on glassy carbon electrode, *Analytica Chimica Acta*, 674, 89-95.
- Das, P., Barbora, L., Das, M., Goswami, P. (2014), Highly sensitive and stable laccase based amperometric biosensor developed on nano-composite matrix for detecting pyrocatechol in environmental samples, *Sensors Actuators B-Chemical*, 192, 737-744.
- Gökahmetoğlu, S.D. (1997), *Yeni kuşak  $\beta$ -Laktam antibiyotiklere dirençli pseudomonas suşlarında bulunan  $\beta$ -laktamazların "isoelectric focusing" yöntemi ile tiplendirilmesi*, Uzmanlık Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 80s.
- Gürler, B., Percin-Ozkorucuklu, S., Kır, E. (2013), Voltammetric behavior and determination of doxycycline in pharmaceuticals at molecularly imprinted and non-imprinted overoxidized polypyrrole electrodes, *Journal of Pharmaceutical Biomedical Analysis*, 84, 263-268.
- Khan, A.A.P., Mohd, A., Bano, S., Siddiqi, K.S., Asiri, A.M. (2015), Spectrophotometric methods for the determination of ampicillin by potassium permanganate and 1-chloro-2,4-dinitrobenzene in pharmaceutical preparations, *Arabian Journal of Chemistry*, 8, 255-263.
- Lima, A.B., Torres, L.M.F.C., Guimaraes, C.F.R.C., Verly, R.M., Da Silva, L.M., Carvalho, A.D., Dos Santos, W.T.P. (2014), Simultaneous determination of paracetamol and ibuprofen in pharmaceutical samples by differential pulse voltammetry using a boron-doped diamond electrode, *Journal Brazil Chemical Society*, 25, 478-483.
- Medvedovici, A., Ionescu, M., Mircioiu, C., David, V. (2002), Optimization of a liquid-liquid extraction method for hplc-dad determination of penicillin-V in human plasma, *Microchemical Journal*, 72, 85-92.
- Özcan, L., Şahin, M., Şahin, Y. (2008), Electrochemical preparation of a molecularly imprinted polypyrrole modified pencil graphite electrode for determination of ascorbic acid. *Sensors*, 8, 5792-5805.
- Perçin Özkorucuklu, S., Şahin, Y., Alsancak, G. (2008), Voltammetric behaviour of sulfamethoxazole on electropolymerized-molecularly imprinted overoxidized polypyrrole, *Sensors*, 8, 8463-8478.
- Sarı, M. (2013), *Bazı penisilinlerin elektrokimyasal karakterizasyonu ve voltammetrik tayinleri*, Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 83s.
- Svorc, L., Sochr, J., Rievaj, M., Tomcik, P., Bustin, D. (2012a.), Voltammetric determination of penicillin V in pharmaceutical formulations and human urine using a boron-doped diamond electrode, *Bioelectrochemistry*, 88, 36-41.
- Svorc, L., Sochr, J., Tomcik, P., Rievaj, M., Bustin, D. (2012b), Simultaneous determination of paracetamol and penicillin V by square-wave voltammetry at a bare boron-doped diamond electrode, *Electrochimica Acta*, 68, 227-234.
- Yanmaz, E. (2010), *Elektron konformasyonel-genetik algoritma Qsar metodu ile penisilin türevlerine ait farmakor grupların belirlenmesi ve biyoaktivite hesabı*, Yüksek lisans tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 142s.





# Insight into Effects of Ipolamiide isolated from *Plantago euphratica* on Probiotic Properties of *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus rhamnosus*

Ebru Koroğlu<sup>1</sup>, Hasan Ufuk Çelebioğlu<sup>2</sup>, Hüseyin Akşit<sup>3</sup>, Recep Taş<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup> Bartın Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoteknoloji Bölümü, Bartın, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9357-4668)

<sup>2</sup> Bartın Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoteknoloji Bölümü, Bartın, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7207-2730)

<sup>3</sup> Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi, Analitik Kimya Bölümü, Erzincan, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1509-851X)

<sup>4</sup> Bartın Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoteknoloji Bölümü, Bartın, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3743-7770)

(First received 22 November 2019 and in final form 19 December 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.650013)

**ATIF/REFERENCE:** Koroğlu, E., Çelebioğlu, H. U., Akşit, H. & Taş, R. (2019). Insight into Effects of Ipolamiide isolated from *Plantago euphratica* on Probiotic Properties of *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus rhamnosus*. *European Journal of Science and Technology*, (17), 995-1000.

## Abstract

Iridoid glycosides are 2-cyclopentanoid derivatives of terpene origin naturally occurring in the leaves, fruits, seeds, bark, roots of various plants. They are medically important because used in the treatment of many diseases while normally protect plants from biotic and abiotic attacks. They have anti-microbial, anti-tumor, anti-cardiac and anti-inflammatory effects. Ipolamiide is one of the iridoid glycosides and naturally present in many plants. Ipolamiide is very little known compound in terms of the biological activities.

The beneficial microorganisms in the body and the plant secondary metabolites can interact in the human gastrointestinal tract. Probiotics are live microorganisms that have many health benefits by improving microbial balance of the intestines. Among the most known and most studied probiotics are *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus rhamnosus*.

The aim of the present study is to investigate the effects of ipolamiide on probiotic bacteria *Lactobacillus rhamnosus* GG (GG) and *Lactobacillus acidophilus* LA-5 (LA-5). For this purpose, ipolamiide was added to the growth of probiotics in different concentrations and its effects on bacterial growth kinetics, bacterial surface hydrophobicity (Microbial Adhesion to Solvents - MATS Test) and bacterial aggregation (Auto-Aggregation Test) were investigated.

The results showed that ipolamiide did not show any important change in surface hydrophobicity of probiotic bacteria. Dose-dependent increases in auto-aggregation properties of the LA-5 and GG were observed. However, further detailed studies are required to give insight into other possible biological activities of ipolamiide.

**Keywords:** Aggregation, Iridoid Glycosides, MATS Test, Probiotics

## ***Plantago Euphratica* Bitkisinden İzole Edilen İpolamiidin *Lactobacillus acidophilus* ve *Lactobacillus rhamnosus* Bakterilerinin Probiyotik Özellikleri Üzerine Etkileri**

### Özet

İridoid glikozitler, doğal olarak yapraklarda, meyvelerde, tohumlarda, ağaç kabuğunda, bitki köklerinde bulunan terpenin 2-siklopentanoid türevleridir. Tıbbi olarak önemlidir, çünkü normalde bitkileri biyotik ve abiyotik ataklardan korurken birçok hastalığın tedavisinde kullanılır. Anti-mikrobiyal, anti-tümör, anti-kardiyak ve anti-enflamatuar etkilere sahiptirler. İpolamiid, iridoid glikozitlerden biridir ve birçok bitkide doğal olarak bulunur. İpolamiid biyolojik aktiviteleri açısından çok az bilinen bir bileşiktir.

\* Corresponding Author: Bartın Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoteknoloji Bölümü, Bartın, Türkiye, ORCID: 0000-0002-3743-7770, [tasrecep@gmail.com](mailto:tasrecep@gmail.com)

Vücuttaki faydalı mikroorganizmalar ve bitki kökenli bileşikler, insan gastrointestinal kanalında etkileşime girebilir. Probiyotikler, bağırsakların mikrobiyal dengesini geliştirerek birçok sağlık yararına sahip olan canlı mikroorganizmalardır. En bilinen ve en çok çalışılan probiyotikler arasında *Lactobacillus acidophilus* ve *Lactobacillus rhamnosus* bulunur.

Bu çalışmanın amacı, ipolamiidin probiyotik bakteriler *Lactobacillus rhamnosus* GG (GG) ve *Lactobacillus acidophilus* LA-5 (LA-5) üzerindeki etkilerini araştırmaktır. Bu amaçla probiyotiklerin büyümesine farklı konsantrasyonlarda ipolamiid eklenmiş ve bakteriyel büyüme kinetiği, bakteriyel yüzey hidrofobisitesi (Solventlere Mikrobiyel Yapışma - MATS Testi) ve bakteriyel agregasyona (Oto-Agregasyon Testi) etkileri incelenmiştir.

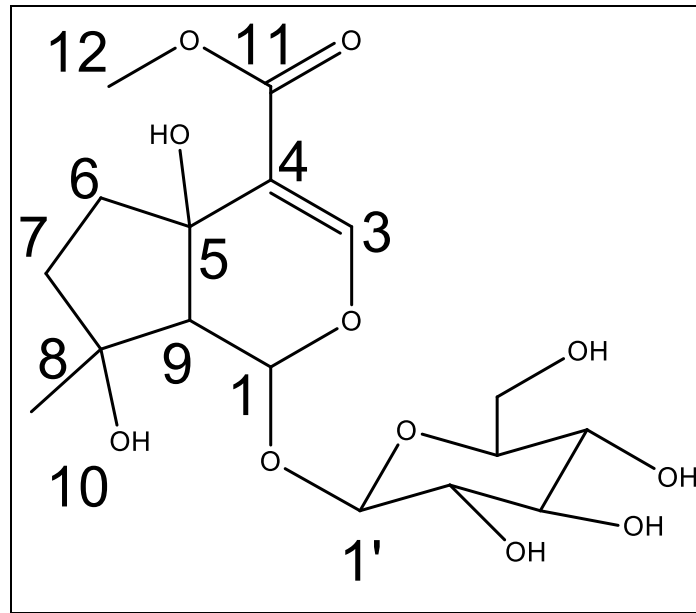
Sonuçlar, ipolamiidin probiyotik bakterilerin yüzey hidrofobisitesinde önemli bir değişikliğe sebep olmadığını göstermiştir. LA-5 ve GG'nin oto-agregasyon özelliklerinde doza bağlı artışlar gözlenmiştir. Bununla birlikte, ipolamiidin diğer olası biyolojik aktiviteleri hakkında bilgi edinmek için daha ayrıntılı çalışmalara ihtiyaç vardır.

**Anahtar Kelimeler:** Agregasyon, İpolamiid, İridoid glikozitler, MATS Testi, Probiyotik

\*Corresponding Author: Bartın Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoteknoloji Bölümü, Bartın, Türkiye, ORCID: 0000-0002-3743-7770, [rtas@bartin.edu.tr](mailto:rtas@bartin.edu.tr)

## 1. Introduction

*Plantago* species are represented by about 275 species that grown all over the world. The most common use of *Plantago* species as herbal remedy is in the treatment of skin disorders and wound healing. In addition, several studies were reported previously analgesic (Das et al., 1984), anti-inflammatory (Barua et al., 2011), antiviral (Chiang et al., 2002), antioxidant (Gálvez et al., 2005) and anticancer (Moon & Zee, 1999) activity of various member of *Plantago* species. According to the literature; *Plantago* species include many secondary metabolites such as phenyl ethanoids (Nishibe et al., 1993; Murai et al., 1995), flavonoids (Jurišić Grubešić et al., 2013), iridoids (Handjieva et al., 1991; Jensen et al., 1996; Darrow & Bowers, 1997; Fuchs & Bowers, 2004), terpenoids (Venditti et al., 2015) and steroids (Zacchigna et al., 2009; Najib et al., 2012). *Plantago euphratica* is one of the endemic species of Turkey. To the best of our knowledge, no previous studies have been reported the biological activity and phytochemical content of *Plantago euphratica*.



**Figure 1.** Chemical structure of ipolamiide

Probiotics are defined as living microorganisms that have a beneficial effects on the host by improving the microbial balance of the intestinal system (Hill et al., 2014). Among these, *Bifidobacterium* and *Lactobacillus* species are widely used. Lactic acid bacteria are among the group of microorganisms that possess effects on human health and constitute the most important group of probiotic microorganisms (Uymaz, 2010). Foods containing probiotic microorganisms constitute an important part of the food market. Increasing consumer awareness and better understanding of the importance of diet for a healthy life result in increasing demand for probiotic foods (Kleerebezem & Vaughan, 2009). *Lactobacillus plantarum*, *L. rhamnosus*, *L. paracasei*, *L. acidophilus* and *L. salivarius* are commonly found in the mucosa from the mouth to the rectum (Alp & Ertürkmen, 2017). In order to use a microorganism in food as probiotic; it should be preferably of human origin, able to survive in the gastrointestinal tract, not be pathogen, not have antibiotic resistance, produce antimicrobial compounds, stimulate the immune system, be resistant to stomach acid and bile salt (Collins & Gibson, 1999; Dunne et al., 2001; Erem, Küçükçetin, & Certel, 2013; Kechagia et al., 2013; Uymaz, 2010). Probiotic microorganisms compete with pathogenic

microorganisms for adherence to the intestinal wall and the consumption of nutrients contained in the lumen, produce substances with antimicrobial properties and regulate the immune functions associated with the intestinal mucosa to demonstrate these beneficial effects (Alp & Ertürkmen, 2017).

The beneficial microorganisms in the body and the compounds of plant origin interact in the human digestive tract. The aim of this study was to investigate the *in vitro* interaction of ipolamiide and probiotic. For this purpose, *L. acidophilus* LA-5 and *L. rhamnosus* GG bacteria were grown in the presence of different concentrations of ipolamiide and the effects of ipolamiide on bacterial growth kinetics, surface hydrophobicity and autoaggregation were investigated.

## 2. Material and Method

### 2.1. Plant Collection and Ipolamiide Isolation

*Plantago euphratica* was collected from Erzincan (Kemah-İliç Road 32<sup>th</sup> km, jipsy rock) at June 2018. The plant sample was dried under room conditions without direct exposure sunlight. 100 g of well-grounded aerial parts of *Plantago euphratica* were extracted with 2X600 mL of methanol for 12 h. After removing solvent, a dark green slurry extract (9.8 g) was obtained. In order to remove chlorophylls, extract was dissolved in hot water then cooled to rt., non-soluble parts were filtrated, and the filtrate lyophilized overnight to give 4 g of pale-yellow solid. 1 g of extract dissolved in 20 mL of water and repeatedly injected to semi prep-HPLC ten times with 2 mL sample loop using a gradient elution from 90:10 to 50:50 (water: ACN) with 8 mL/min flow rate. The main peaks were collected according to the absorbance at 235 nm. The collected fractions between 16-18 minutes were purified using recycling mode with isocratic elution with 85:15 (Water: ACN), with 8 mL/min flow rate. After 10<sup>th</sup> cycle, a clear separation was observed then peaks were collected. The solvents were evaporated to give ipolamiide (128 mg) with high purity.

### 2.2. Growth of probiotic bacteria in the presence of ipolamiide and bacterial growth kinetics

*Lactobacillus acidophilus* LA-5 and *Lactobacillus rhamnosus* GG, which are kind gifts of Chr. Hansen, Turkey, were grown in Man, Rogosa and Sharpe (MRS) medium without shaking, at 37°C (Celebioglu, Delsoglio, Brix, Pessione, & Svensson, 2018). The bacteria were divided into groups and treated with ipolamiide. Ipolamiide was not added to the control group (MRS only), and 5 µg/mL, 10 µg/mL, and 20 µg/mL ipolamiide was added to the treated groups in MRS medium. Bacterial optical density was determined by densitometry. Reading the densitometry every four hour, the effects of ipolamiide on bacterial growth were investigated.

### 2.3. Microbial Adhesion to Solvents (MATS)

Bacterial surface hydrophobicity was measured by the method of microbial adhesion to solvents (MATS) (Kos et al., 2003). The bacteria (control and treated groups) were harvested in the stationary phase (3200xg, 15 min), washed with PBS (Phosphate-saline buffer), and suspended in 0.1 M KNO<sub>3</sub> (pH 6.2) to have OD<sub>600</sub> of 0.5. One mL of xylene (nonpolar solvent) was added to 3 mL of bacterial suspension and incubated at RT for 10 min. The two-phase system was vortexed for 2 min, the aqueous phase was separated and incubated for another 20 min at RT. Absorbance was measured at 600 nm and the bacterial adhesion to the solvent was calculated using the formula

$$\% Adhesion = \left(1 - \frac{A1}{A0}\right) \times 100$$

where, A1 is the absorbance measured after the incubation and A0 is the absorbance measured before the incubation (Kos et al., 2003).

### 2.4. Probiotic Auto-Aggregation

Bacterial cells were collected in the stationary phase (3200xg, 15 min), washed with PBS and re-suspended in PBS to OD<sub>600</sub> 0.5 (Kos et al., 2003). Auto-aggregation was determined by adding 4 mL of bacterial suspensions to the test tubes after vortex for 10 sec. for one hour-incubation at room temperature. After incubation, 100 µL of suspension was taken, added to the tube containing 900 µL of PBS, and the absorbance was measured at 600 nm. The percentage of auto-aggregation was calculated with the formula

$$\% Autoaggregation = \left(1 - \frac{At}{A0}\right) \times 100$$

where At is the absorbance measured after incubation and A0 is the absorbance measured at 0<sup>th</sup> hour (Kos et al., 2003).

### 2.5. Statistical Analysis

Every experiments were performed with at least three replicates and the results were expressed as mean ± Standard deviation and compared using Students's *t*-test. *p*<0.05 was considered as statistically significant.

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. NMR Study

$^1\text{H}$  NMR (400 MHz, MeOD)  $\delta_{\text{H}}$  7.47 (s, 1H, H3), 5.83 (brs, 1H, H1), 4.61 (d,  $J=7.84$ , 1H, H1'), 3.92 (dd,  $J=11.9, 2.3$ , 1H, H6'a), 3.75 (s, 3H, H12), 3.68 (dd,  $J=11.9, 5.9$ , 1H, H6'b), 3.40 (m, 1H, H3'), 3.34 (m, 1H, H5'), 3.30 (m, 1H, H4'), 3.21 (dd,  $J=9.2, 7.8$ , 1H, H2'), 2.50 (brs, 1H, H9), 2.27 (m, 1H, H6a), 2.09 (m, 1H, H6b), 1.96 (m, 1H, H7a), 1.59 (m, 1H, H7b), 1.17 (s, 3H, H10).  $^{13}\text{C}$  NMR (101 MHz, MeOD)  $\delta_{\text{C}}$  166.7 (C11), 151.3 (C3), 113.8 (C4), 98.2 (C1'), 92.9 (C1), 77.6 (C8), 76.9 (C5'), 76.0 (C3'), 73.0 (C2'), 70.4 (C5), 70.3 (C4'), 61.45 (C6'), 60.3 (C9), 50.4 (C12), 39.0 (C7), 37.5 (C6), 22.0 (C10).

The NMR spectra correspond to the ipolamiide. Thus, this confirms that the isolation of ipolamiide was successful.

#### 3.2. Bacterial Growth Kinetics

In this study, 0, 5, 10, and 20  $\mu\text{g}/\text{mL}$  concentrations of ipolamiide were used. Ipolamiide showed a statistically significant decrease in *Lactobacillus acidophilus* LA-5 at 5 and 10  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , whereas 20  $\mu\text{g}/\text{mL}$  was not observed. When *Lactobacillus rhamnosus* GG was examined, no significant change was observed (Fig. 2). This means ipolamiide did not show very effective against the probiotic bacteria, and even higher concentrations could have positive effects on the growth. It is important that such compounds have no effect on the growth of beneficial microorganisms, while their anti-bacterial activities against pathogenic bacteria are present. Thus, this compound can selectively affect on beneficial bacteria.

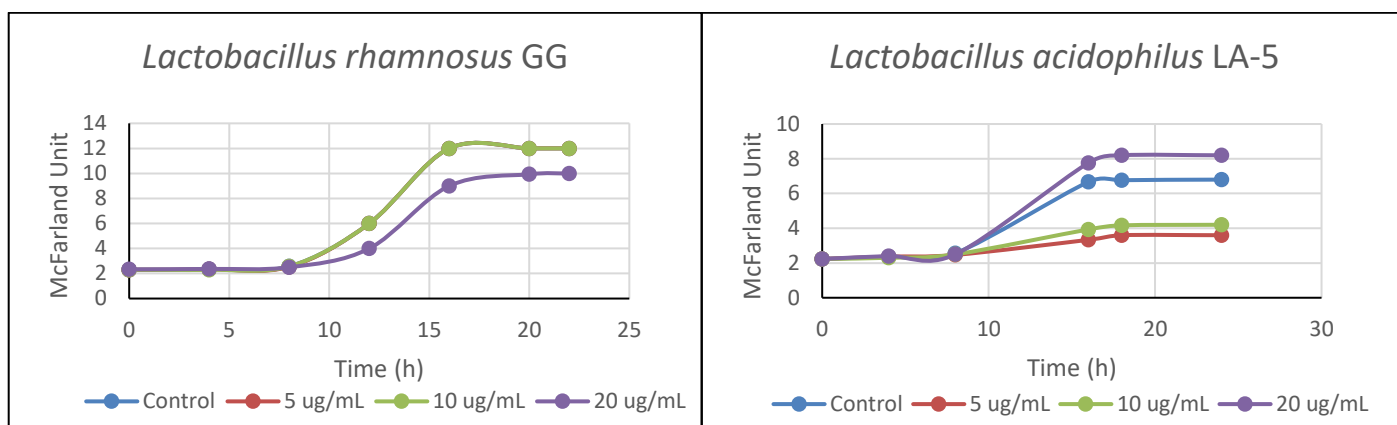
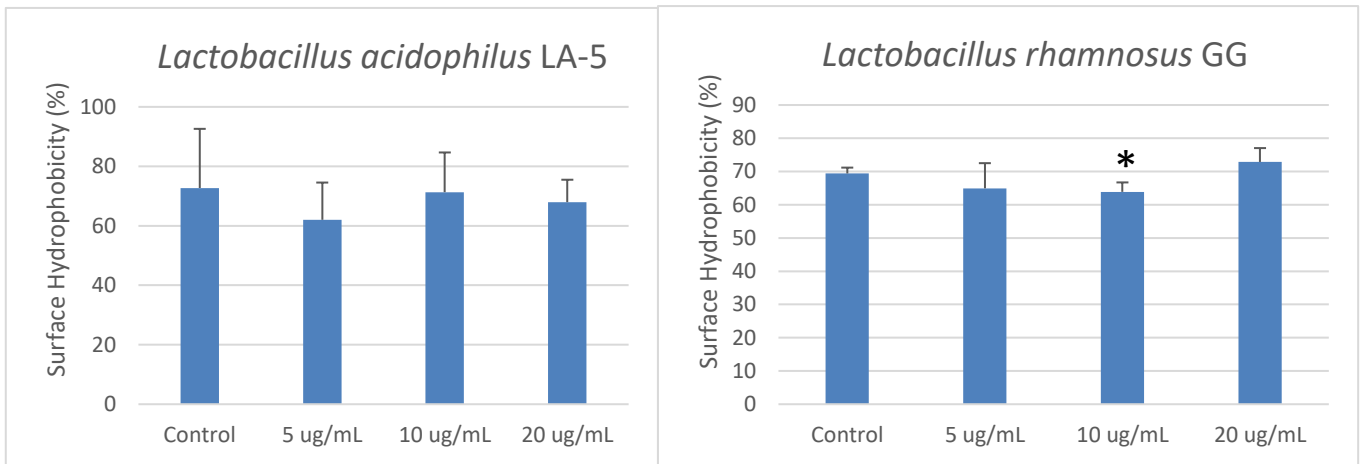


Figure 2. Effects of different concentrations of ipolamiide on growth kinetics of probiotic bacteria.

#### 3.3. Bacterial Surface Hydrophobicity

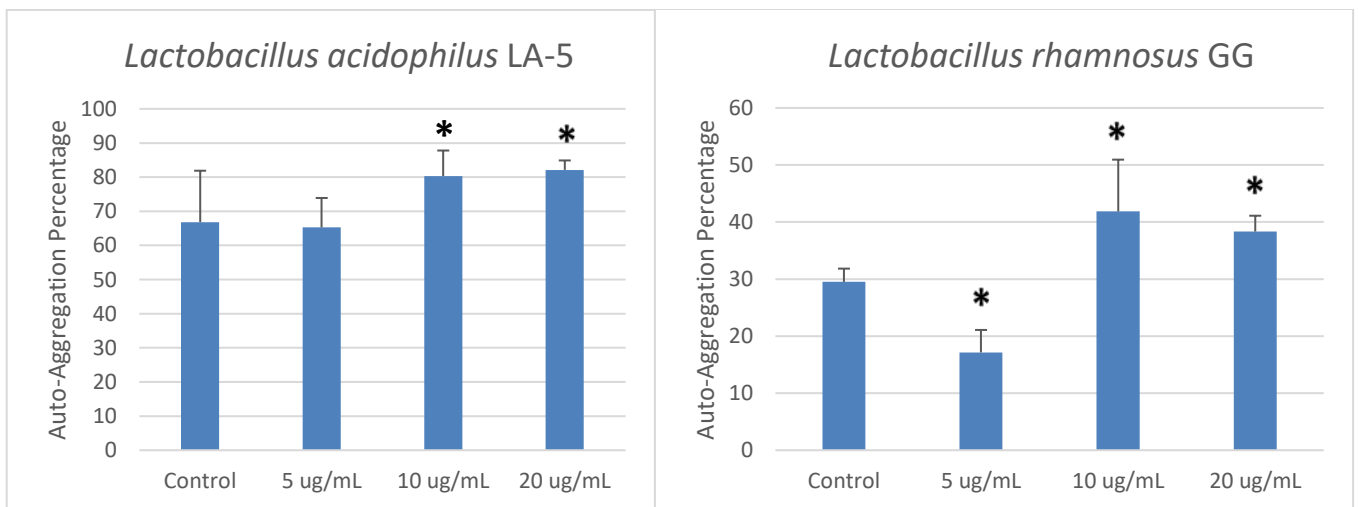
Bacterial surface hydrophobicity plays an important role in the adhesion of bacteria to the mucosa in the intestines (Liu et al., 2004). Therefore, the more surface hydrophobicity increases, the more likely the beneficial bacteria will bind to the mucosa in the gastrointestinal tract. Only at 10  $\mu\text{g}/\text{mL}$  concentration of ipolamiide applied on probiotic bacteria, the surface hydrophobicity of *Lactobacillus rhamnosus* GG bacteria was significantly ( $p < 0.05$ ) decreased, while no other concentrations showed any alteration on either *Lactobacillus acidophilus* LA-5 or *Lactobacillus rhamnosus* GG surface hydrophobicity (Fig. 3). This means that no changes observed on the hydrophobicity could not alter the adhesion of the probiotic bacteria to the host components, such as mucus layer and epithelial cells.



**Figure 3.** Effects of different concentrations of ipolamiide on probiotic bacterial surface hydrophobicity. Asterisks (\*) indicate  $p < 0.05$ , when compared to control.

### 3.4. Bacterial Auto-Aggregation

Bacterial aggregation is also of great importance for attachment of probiotics to the intestinal mucosa (Etzold et al., 2014). High aggregation is an indication of better adhesion. When the auto-aggregation of the bacteria was examined (Fig. 4), significant increases (10 and 20  $\mu\text{g/mL}$ ) were observed in *Lactobacillus acidophilus* LA-5, as well as in the auto-aggregation of *Lactobacillus rhamnosus* GG bacteria ( $p < 0.05$ ). however, a significant decrease was observed in the auto-aggregation of *Lactobacillus rhamnosus* GG when the concentration of 5  $\mu\text{g/mL}$  was used.



**Figure 4.** Effects of different concentrations of ipolamiide on probiotic auto-aggregation. Asterisks (\*) indicate  $p < 0.05$ , when compared to control.

## 4. Conclusions and Recommendations

Probiotics and plant-derived compounds are great candidates for the functional foods, defined as food or food ingredients that have positive health benefits on human. Thus, interplay between probiotics and plant compounds should be studied in terms of more bioactive compounds could be produced by the metabolism of the beneficial microorganisms. Furthermore, such compounds could affect the probiotic activities of the microorganisms. Thus, the present study was conducted as preliminary screening of this interaction between ipolamiide and very well known probiotic bacteria *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus rhamnosus*.

Further studies are required in order to investigate how these bacteria can metabolize the ipolamiide and when it is metabolized, whether its biological activity is increased.



## 4. Acknowledge

Chr. Hansen, Turkey is acknowledged for their supplying the probiotic strains.

## References

- Alp, D., & Ertürkmen, P. (2017). Probiyotik Olarak Kullanılan *Lactobacillus* spp. Suşlarının Kolesterol Düşürücü Etkileri ve Olası Mekanizmalar. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(1), 108–113.
- Barua, C. C., S. K. Pal, J. D. Roy, B. Buragohain, A. Talukdar, A. G. Barua, P. Borah, 2011. Studies on the anti-inflammatory properties of *Plantago erosa* leaf extract in rodents. *Journal of ethnopharmacology*, 134(1), 62–66.
- Celebioglu, H. U., Delsoglio, M., Brix, S., Pessione, E., & Svensson, B. (2018). Plant Polyphenols Stimulate Adhesion to Intestinal Mucosa and Induce Proteome Changes in the Probiotic *Lactobacillus acidophilus* NCFM. *Molecular Nutrition and Food Research*, 62(4), 1–11. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201700638>
- Chiang, L., W. Chiang, M. Chang, L. Ng, C. Lin, 2002. Antiviral activity of *Plantago* major extracts and related compounds in vitro. *Antiviral research*, 55(1), 53–62.
- Collins, M. D., & Gibson, G. R. (1999). Probiotics, prebiotics, and synbiotics: approaches for modulating the microbial ecology of the gut. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 69(5), 1052S–1057S.
- Darrow, K., M. D. Bowers, 1997. Phenological and population variation in iridoid glycosides of *Plantago lanceolata* (Plantaginaceae). *Biochemical Systematics and Ecology*, 25(1), 1–11.
- Das, S., R. N. Barua, R. P. Sharma, J. N. Baruah, P. Kulanthaivel, W. Herz, 1984. Secoiridoids from *Exacum tetragonum*. *Phytochemistry*, 23(4), 908–909.
- Dunne, C., O'Mahony, L., Murphy, L., Thornton, G., Morrissey, D., O'Halloran, S., ... Collins, J. K. (2001). In vitro selection criteria for probiotic bacteria of human origin: Correlation with in vivo findings. In *American Journal of Clinical Nutrition*. <https://doi.org/10.1093/ajcn/73.2.386s>
- Erem, F., Küçükçetin, A., & Certel, M. (2013). *Bacillus* Türlerinin Probiyotik Olarak Değerlendirilmesi. *Gıda*, 38(4), 247–254.
- Etzold, S., Kober, O. I., Mackenzie, D. a, Tailford, L. E., Gunning, a P., Walshaw, J., ... Juge, N. (2014). Structural basis for adaptation of lactobacilli to gastrointestinal mucus. *Environmental Microbiology*, 16(3), 888–903. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.12377>
- Fuchs, A., M. D. Bowers, 2004. Patterns of iridoid glycoside production and induction in *Plantago lanceolata* and the importance of plant age. *Journal of Chemical Ecology*, 30(9), 1723–1741.
- Gálvez, M., C. Martín-Cordero, P. J. Houghton, M. J. Ayuso, 2005. Antioxidant activity of methanol extracts obtained from *Plantago* species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(6), 1927–1933.
- Gálvez, M., C. Martín-Cordero, P. J. Houghton, M. J. Ayuso, 2005. Antioxidant activity of *Plantago bellardii* All. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 19(12), 1074–1076.
- Handjieva, N., S. Spassov, G. Bodurova, H. Saadi, S. Popov, O. Pureb, J. Zamjansan, 1991. Majoroside, an iridoid glucoside from *Plantago major*. *Phytochemistry*, 30(4), 1317–1318.
- Hill, C., Guarner, F., Reid, G., Gibson, G. R., Merenstein, D. J., Pot, B., ... Sanders, M. E. (2014). Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nature Reviews. Gastroenterology & Hepatology*, 11(August 2014), 9. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2014.66>
- Jensen, S. R., C. E. Olsen, K. Rahn, J. H. Rasmussen, 1996. Iridoid glucosides in *Plantago alpina* and *P. altissima*. *Phytochemistry*, 42(6), 1633–1636.
- Jurišić Grubešić, R., G. Srečnik, D. Kremer, J. Vuković Rodríguez, T. Nikolić, S. Vladimir-Knežević, 2013. Simultaneous RP-HPLC-DAD Separation, and Determination of Flavonoids and Phenolic Acids in *Plantago L.* Species. *Chemistry & biodiversity*, 10(7), 1305–1316.
- Kechagia, M., Basoulis, D., Konstantopoulou, S., Dimitriadi, D., Gyftopoulou, K., Skarmoutsou, N., & Fakiri, E. M. (2013). Health Benefits of Probiotics: A Review. *ISRN Nutrition*, 2013, 1–7. <https://doi.org/10.5402/2013/481651>
- Kleerebezem, M., & Vaughan, E. E. (2009). Probiotic and gut lactobacilli and bifidobacteria: molecular approaches to study diversity and activity. *Annual Review of Microbiology*, 63, 269–290. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19575569>
- Kos, B., Susković, J., Vuković, S., Simpraga, M., Frece, J., & Matosić, S. (2003). Adhesion and aggregation ability of probiotic strain *Lactobacillus acidophilus* M92. *Journal of Applied Microbiology*, 94(6), 981–987. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12752805>
- Liu, Y., Yang, S. F., Li, Y., Xu, H., Qin, L., & Tay, J. H. (2004). The influence of cell and substratum surface hydrophobicities on microbial attachment. *Journal of Biotechnology*, 110(3), 251–256. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2004.02.012>
- Moon, H.-I., O.-P. Zee, 1999. Anticancer Compounds of *Plantago asiatica L.* *Korean Journal of Medicinal Crop Science*, 7(2), 143–146.
- Najib, A., G. Alam, M. Halidin, 2012. Isolation and identification of antibacterial compound from diethyl ether extract of *Plantago major L.* *Pharmacognosy Journal*, 4(31), 59–62.
- Nishibe, S., M. Sasahara, Y. Jiao, C. L. Yuan, T. Tanaka, 1993. Phenylethanoid glycosides from *Plantago depressa*. *Phytochemistry*, 32(4), 975–977.
- Uymaz, B. (2010). Probiyotikler ve Kullanım Alanları. *Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*.
- Venditti, A., M. Serafini, M. Nicoletti, A. Bianco, 2015. Terpenoids of *Linaria alpina (L.) Mill.* from Dolomites, Italy. *Natural product research*, 29(21), 2041–2044.
- Zacchigna, M., F. Cateni, M. Faudale, S. Sosa, R. Della Loggia, 2009. Rapid HPLC analysis for quantitative determination of the two isomeric triterpenic acids, oleanolic acid and ursolic acid, in *plantago major*. *Scientia Pharmaceutica*, 77(1), 79–86.



# NACA 4412 Kanadı Üzerinde Bir Emme Kanalı Tasarlanmasının Aerodinamik Etkileri

Tuğrul Oktay<sup>1</sup> ve Öztürk Özdemir Kanat<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Erciyes Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000 0003 4860 2230)

<sup>2</sup> Kastamonu Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Uçak Gövde-Motor Bakım Bölümü, Kastamonu, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7914-0871)

(İlk Geliş Tarihi 16 Kasım 2019 ve Kabul Tarihi 19 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.651523)

**ATIF/REFERENCE:** Oktay, T. & Kanat, Ö. Ö. (2019). NACA 4412 Kanadı Üzerinde Bir Emme Kanalı Tasarlanmasının Aerodinamik Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1001-1007.

## Öz

Bu çalışmada NACA 4412 profili kullanılarak bir kanat tasarlanmış ve suction yöntemi ile hesaplamalı sayısal analizi tartışılmıştır. Öncelikle 3 boyutlu kanat SolidWorks programı ile tasarlanmış ve tasarlanan bu kanadın sayısal analizi bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı olan Ansys Fluent kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sayısal analiz için iki farklı konfigürasyon belirlenmiştir. Bu konfigürasyonlardan ilki olan  $S_1$  kanadın yalın halini yani suction olmayan halini ifade ederken;  $S_2$  suction kanalına sahip olan kanat tasarımını ifade etmektedir. Oluşturulan kanadın düz uçuşunu 6 derece hücum açısı ile gerçekleştirdiğine karar verilmiş ve bu hücum açısında kanat üzerindeki akış ayrılmalarının kanat chord uzunluğunun %25' inde meydana geldiği yapılan sayısal analizle tespit edilmiştir. Chord uzunluğunun bu noktasından kanat üst yüzeyinden başlayıp iç kısımdan devam eden son olarakta firar kenarından hava ile buluşan bir venturi kanal oluşturulmuştur. Bu kanalın temel amacı uçuş esnasında akışın bozulmaya başladığı yerde kuvvet azaltımı yapılarak aerodinamik performans artışının sağlanabilmesidir. Aerodinamik performanstaki değişimin incelenebilmesi için kanat üzerinde meydana gelen taşıma ve sürükleme katsayıları değerleri her iki konfigürasyon içinde 10 farklı hücum açısında (i.e. -6,-4, -2, 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12) ayrı ayrı olacak şekilde elde edilmiştir.  $S_1$  ve  $S_2$  konfigürasyonları için elde edilen bu katsayı değerleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan sonuçlara göre, yapılan bu sayısal analiz çalışmasında  $S_1$  konfigürasyonuna göre  $S_2$  konfigürasyonunun performansında belirgin bir artış olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Aktif Akış Kontrol, Emme Metodu, Maksimum Verimlilik

## Aerodynamic Effects of Designing A Suction Channel Over NACA 4412 Wing

### Abstract

In this study, a wing is designed by using NACA 4412 profile and computational numerical analysis is discussed with suction method. First of all, the 3D wing is designed with the SolidWorks and the numerical study of this designed wing is carried out using ANSYS Fluent, a famous CFD (i.e. Computational Fluid Dynamics) software. It is based upon finite volume method approach. Two different configurations are used for numerical study. The first of these configurations is the  $S_1$ , which represents the initial state of the wing;  $S_2$  refers to the wing design with suction channel. The straight flight angle of attack of the wing is 6 degree and the flow separations over the wing, which occurred in 25% of the wing chord length, are calculated at this angle of attack by the numerical study. At this point of chord length, a venturi channel is formed which initial point is the upper surface of the wing and throughout the inner part and finally meets with air from the trailing edge. The main purpose of this channel is to decrease the force at the place where the flow begins to deteriorate during the flight and to increase the aerodynamic performance. In order to be able to examine the change in aerodynamic

\* Sorumlu Yazar: Kastamonu Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Uçak Gövde-Motor Bakım Bölümü, Kastamonu, Türkiye, ORCID: 0000-0001-7914-0871, [ozturkkanat@gmail.com](mailto:ozturkkanat@gmail.com)

performance, the lift and drag coefficient values on the wing are obtained in 10 angles of attack (i.e. -6, -4, -2, 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12) separately for both configurations. These coefficients obtained for  $S_1$  and  $S_2$  configurations are compared with each other. In this numerical study based on the comparison results, it is found that there is a significant increase in the performance of  $S_2$  configuration compared to the  $S_1$  configuration.

**Keywords:** Active flow Control, Suction Method, Maximum Fineness

## 1. Introduction

UAVs (i.e. Unmanned aerial vehicles) continue to take place increasingly in many areas of life, both commercial and daily, for hobby purposes and because of military needs. In short, UAVs have great importance in meeting the needs in many different areas such as our daily needs (Austin, 2010 and Arik et al., 2018). Therefore, studies related to UAVs were examined and a literature review was carried out. As a result of the literature review, it is seen that the majority of the studies are aimed at increasing the efficiency of UAVs (Konar, 2019). Starting from here, a wing was designed using the NACA 4412 profile, which could be the wing of a UAV. The lift ( $C_L$ ) and drag ( $C_D$ ) coefficients of this designed wing were calculated numerically. The ANSYS Fluent program, which works according to the finite volume method, was used for numerical computation. ANSYS Fluent is known as a computational fluid dynamics program. Especially in the last quarter century, in parallel with the developments in computer technology and intensive studies on CFD calculations, CFD has become more easily applicable and a very good alternative to experimental studies. Jansson et al. (Jansson et al., 2012) using CFD method simulated NACA 0012 profile with finite volume method.

Flow control is described as changing the direction of a fluid to increase the flow efficiency. Today, active flow control technique is used to reduce problems such as excessive fuel consumption and high noise which constitute a negative situation for air vehicles (Burnazzi & Radespiel, 2015). Prandtl (Prandtl, 1927) stated that it can provide benefits by controlling the flow around an object. In the following years, various flow control techniques were carried out to improve wing aerodynamic performance. In addition to the aim of increasing the aerodynamic performance of the wing, it is also aimed to increase the controllability of air vehicles through the active flow control method. Despite the recent advances in this technology, the application of active systems to an aircraft is a fundamental problem. In this study, the difficulties of using external sources for flow control and possible negative effects were taken into consideration and the design changes were made to guide the flow. In this study, the suction method, one of the flow control methods, was used (Azim et al., 2015).

Control systems applied as constant to give direction to a flow are called passive flow control methods. The control method in which the direction and force of the fluid can be intervened at any time of the flow at any time is known as the active flow control method (Oktay & Kanat, 2017). In the passive control method, no external energy source is needed, whereas in the active control method an external energy source is generally needed. Active control method has two important advantages over passive control method. These are: ensuring the controllability of the flow with small energy outputs and changing the energy position and amounts as required. The basic logic of the active control method is that the energy is intervened by the external energy source into the flow. In addition to these, intervention according to needs is the greatest advantage. Konar (Konar, 2019), has studied about redesign of morphing UAV's winglet to improve UAV's performance. For an aircraft, using winglet external flow can be controlled easily.

This paper presents a numerical investigation on the aerodynamic effects of designing a suction channel through the wing. For this purpose, two different wing designs were determined. The first of these is the simple form of the wing without any insertion and named as  $S_1$  configuration. Another is the design with suction channel designed on the wing, which is called the  $S_2$  configuration. This research article is focused on comparing the obtained  $E_{max}$  (i.e. Maximum lift/drag ratio and it refers to total aerodynamic performance) results for each configurations, and so it is aimed to increase the total aerodynamic performance.

## 2. Material and Method

### 2.1. Suction Channel

In order to achieve the best aerodynamic performance of a wing design, the pressure difference between the lower and upper surfaces of the wing must be at the highest possible value. In this study, the suction channel is designed to start from  $\frac{1}{4}$  of the length of the wing cord, from the wing leading edge of the wing upper surface. The main reason why the inlet of the suction channel is initiated from this zone is that the wing straight flight angle is considered to be 6 degree angle of attack and this is due to the starting point of flow separation on the upper surface of the wing at the angle of attack.

Increasing the dynamic pressure of the air entering the wing by means of the suction channel is aimed to rapidly leave the wing from the trailing edge. For this reason, the channel is designed as a venturi. The main purpose of designing the intake channel is that air reaching high speed on the wing cannot follow the airfoil profile. As a result of this situation, drag increases and lift decreases. Figure 1 shows the airfoil and suction channel.

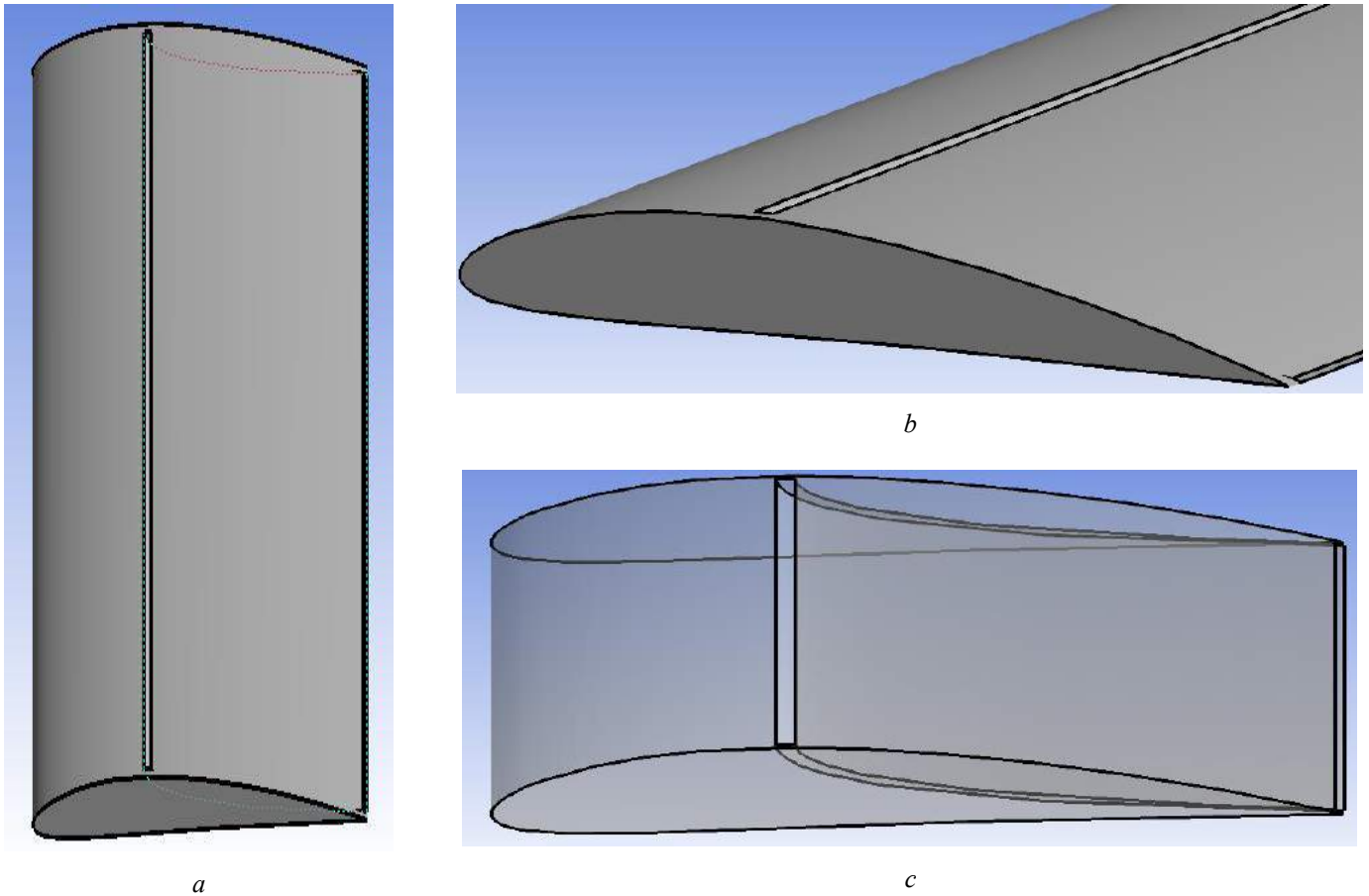
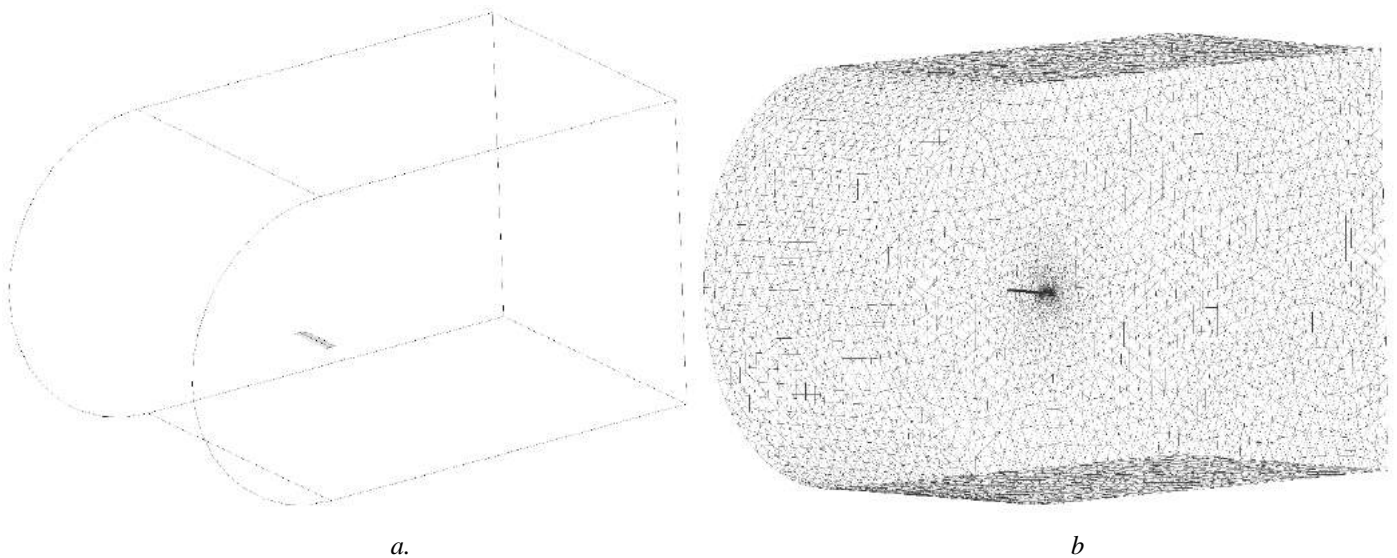


Figure 1. Different Views of Wing With Suction Channel

## 2.2. Numerical Study

After the three-dimensional geometry was created, the boundary was divided into control volumes and the wing performance was calculated. This control volume generation operation was carried out separately for  $S_1$  and  $S_2$  configurations. For the numerical study, the number of cells has been preferred in order to obtain the most accurate results in the shortest time. The cells used are shown in Figure 2. In order to make an accurate comparison, the first element heights, maximum element sizes and growth rates were tried to be equal for both configurations (Kanat et al., 2017).





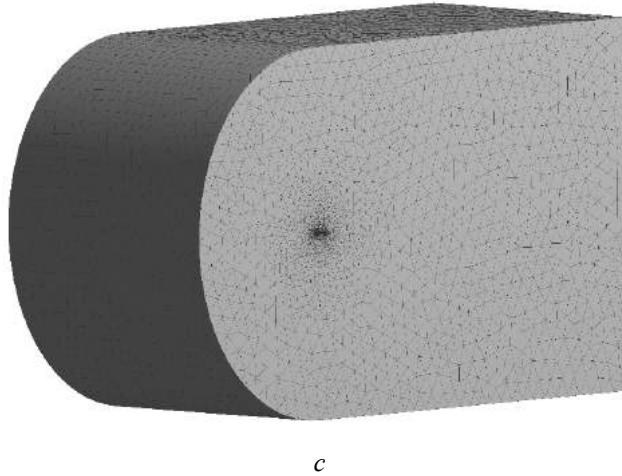


Figure 2. a. Boundary b. Wireframe c. Control Volume

After cells were formed, fluid properties and turbulence model were determined (Nichols, 2010) Then, the wing top view area is defined as the reference area in order to calculate wing lift and drag coefficient values. After determining the sufficient number of iterations by the solution method, aerodynamic coefficient calculations were made for the different angle of attack for each configuration.  $E_{max}$  was calculated according to the obtained  $C_L$  and  $C_D$  values and the change in total aerodynamic performance was evaluated.

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Lift Coefficient ( $C_L$ ) and Drag Coefficient ( $C_D$ )

Figure 3 shows the lift coefficient. For the  $S_1$  and  $S_2$  configurations, separately calculated  $C_L$  values are shown. Due to the NACA 4412 profile structure, it is seen that a lift occurs in the -2 and -3 degrees angles of attack, there is little if any small values. When the angle of attack increases with the  $S_2$  configuration compared to  $S_1$ , it appears that the suction channel has a negative effect on lift. For the angle of attack of 2 degrees, it can be said that the lift is almost equal. As the angle of attack decreases, it is understood that the suction channel affects the lift positively.

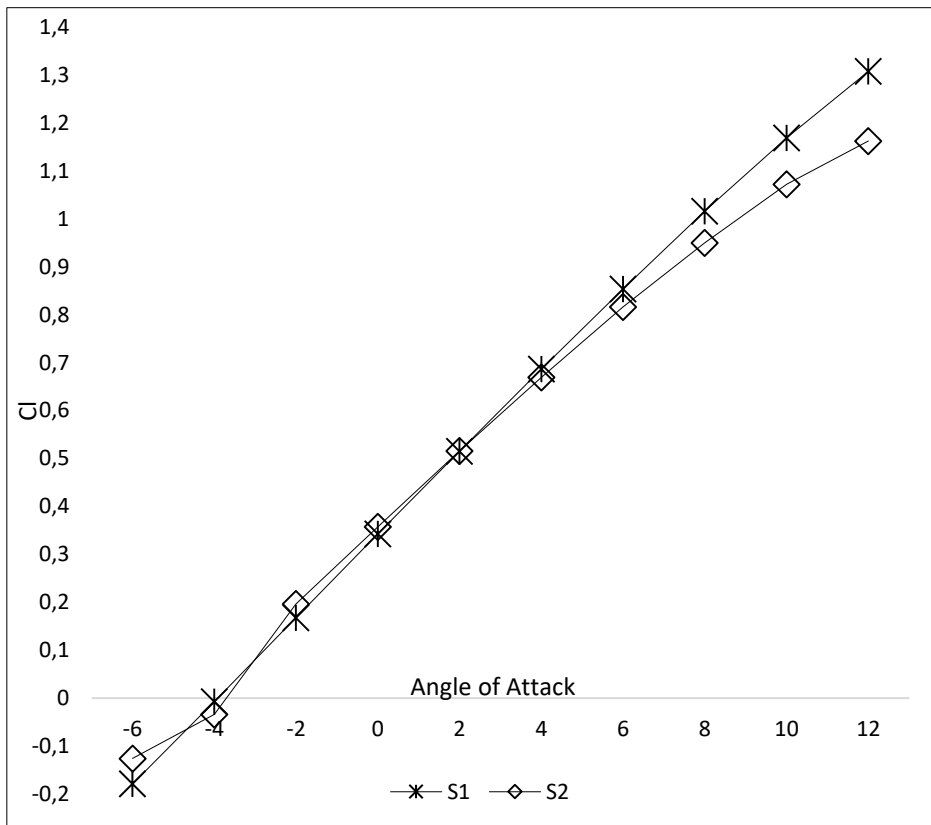


Figure 3.  $C_L$



The drag coefficient obtained is shown in Figure 4. The 6 degree angle of attack appears to be the decisive factor for the  $S_1$  and  $S_2$  configurations'  $C_D$  values. In terms of this angle of attack, it is seen that more drag occurs for the  $S_2$  configuration for smaller angle of attack, whereas the positive effect on drag values is seen at larger angles of attack.

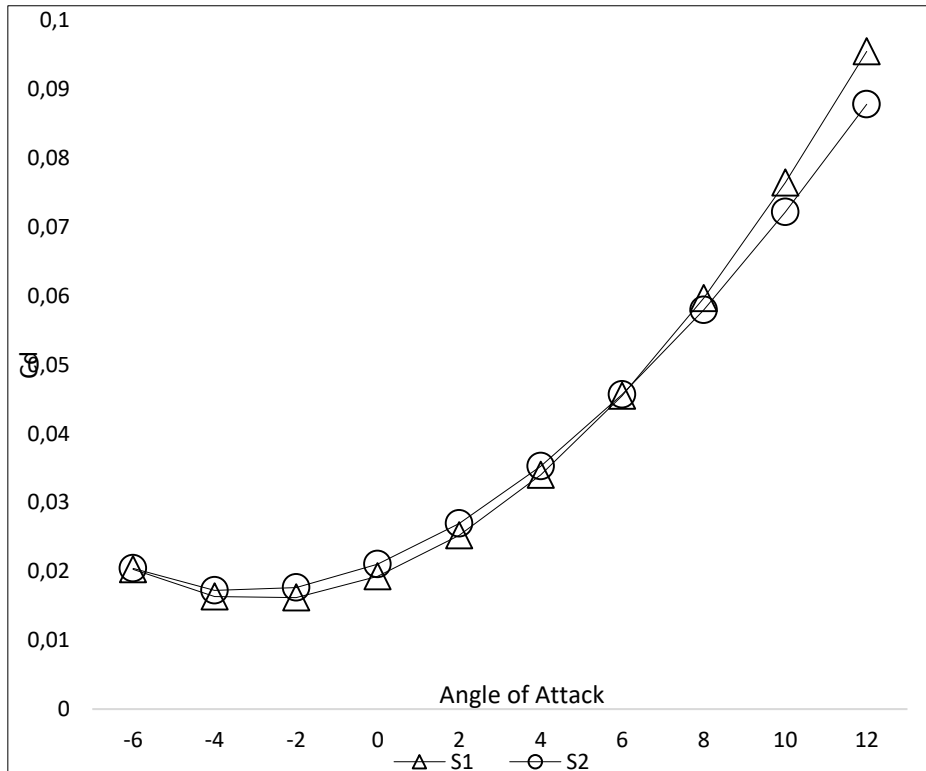


Figure 4.  $C_D$

### 3.2. $E_{max}$ (Maximum Lift/Drag Ratio)

$E_{max}$  enables us to evaluate the changes in  $C_L$  and  $C_D$  according to the angle of attack as a common and to provide information about total performance change.  $E_{max}$  equation 1 is used to calculate the equation (Vinh, 1993).

$$E_{max} = \frac{1}{2\sqrt{k \times C_L^2}} \tag{1}$$

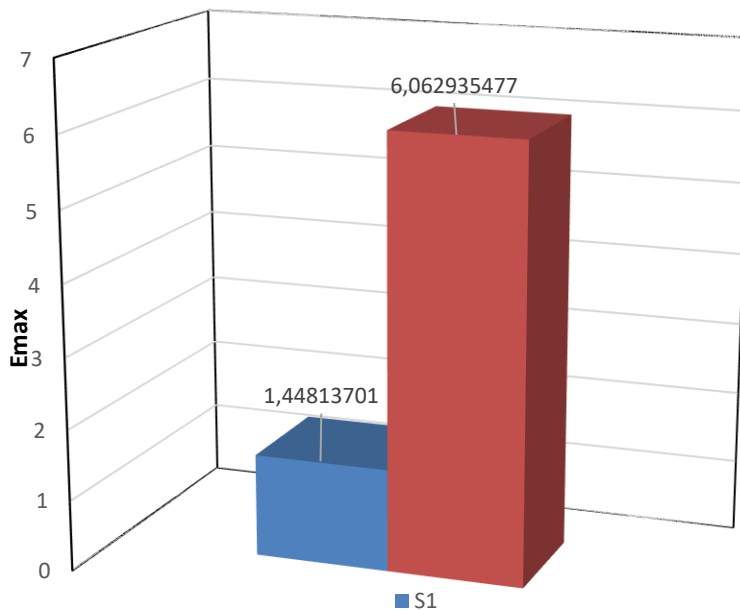
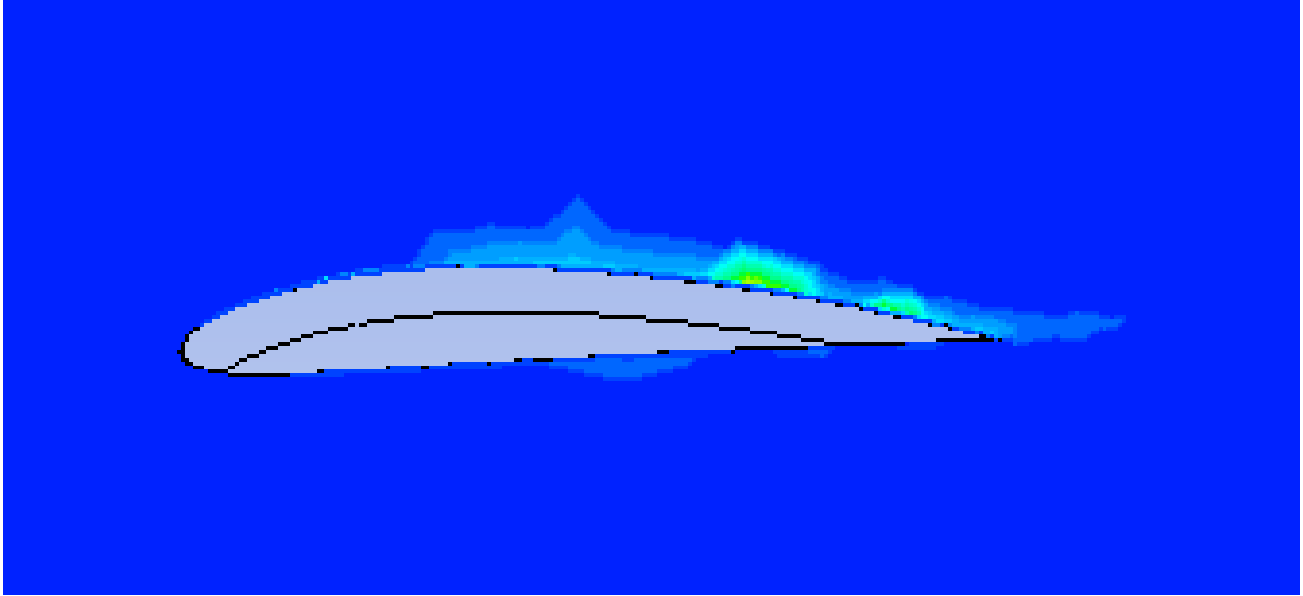


Figure 5.  $E_{max}$

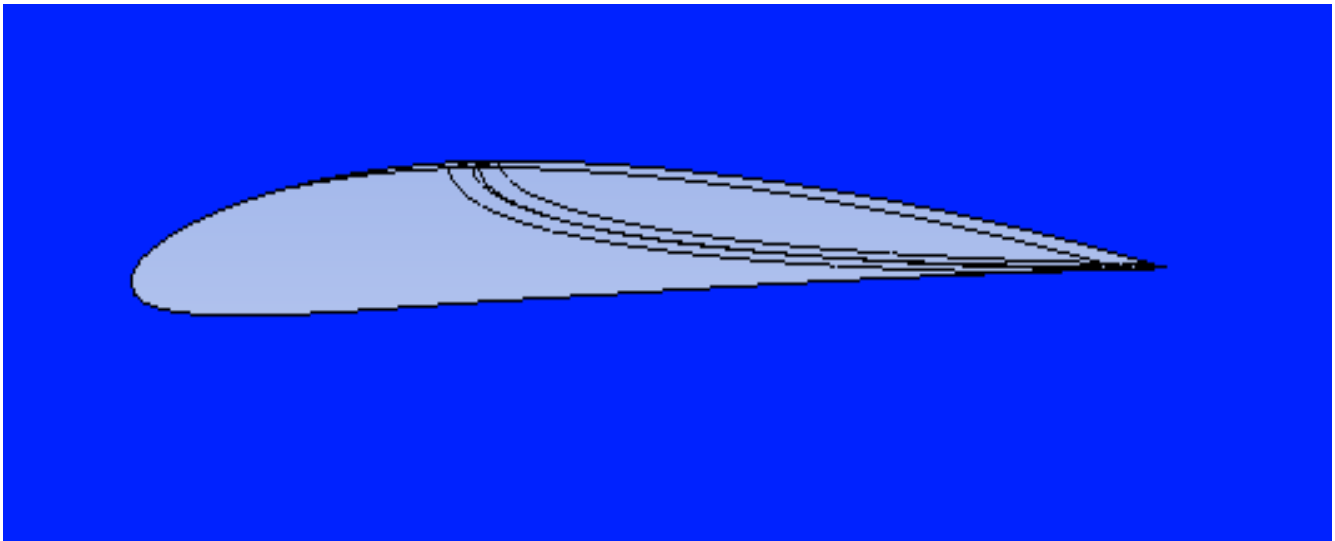
The  $E_{max}$  values calculated according to equation 1 for  $S_1$  and  $S_2$  are given in Figure 5. Clearly, there is an increase in  $E_{max}$ , a common assessment of  $C_L$  and  $C_D$  results with suction channel design.

### 3.3. Turbulence Kinetic Energy

Figure 6 shows *turbulence kinetic energy* (i.e. the kinetic energy per unit mass of the turbulent fluctuations in a turbulent flow ) views of  $S_1$  and  $S_2$  configurations at 6 degree angle of attack (URL-1). As clearly seen from this figure, *turbulence kinetic energy* is stable after the suction channel is created.



a



b

Figure 6. Turbulence Kinetic Energy For Configurations a.  $S_1$  b.  $S_2$

## 4. Conclusion

With this research article, a suction channel was created on a wing designed using NACA 4412 profile and flow control was tried to be provided. As the main contribution of this study to the literature, it can be evaluated that the changes in wing design can be directed to flow and as a result, total performance can be increased. In addition to this, the flow separation on the wing can be delayed using suction channels. For further studies, higher efficiency will be obtained by designing different suction channels (i.e. size, channel inlet-outlet position, channel start point, channel end point) and optimization of them. At the same time, strength calculations can be made for the wings that have suction channel. As a result, it has been shown in this study that aerodynamic performance can be significantly influenced by flow controls to be performed with aerodynamic design of aircraft.

## References

- Ansys Fluent Theory Guide, 2013.
- Austin, R. 2010. Unmanned aircraft systems. Wiley.
- Arik, S., Turkmen, I., & Oktay, T. (2018). Redesign of morphing UAV for simultaneous improvement of directional stability and maximum lift/drag ratio. *Advances in Electrical and Computer Engineering*, 18(4), 57-63.
- Azim, R., Hasan, M. M., & Ali, M. (2015). Numerical investigation on the delay of boundary layer separation by suction for NACA 4412. *Procedia Engineering*, 105, 329-334.
- Burnazzi, M., & Radespiel, R. (2015). Synergies between suction and blowing for active high-lift flaps. *CEAS Aeronautical Journal*, 6(2), 305-318.
- Jansson, J., Hoffman, J., & Jansson, N. (2012). Simulation of 3d unsteady incompressible flow past a naca 0012 wing section.
- Kanat, Ö. Ö., Körpe, D. S., & Kurban, A. O. (2017). Yatay Kuyruklarda Kıvrık Kanat Ucu Kullanımının Aerodinamik Etkileri. *Journal of Aviation*, 1(2), 87-98.
- Konar, M. (2019). GAO Algoritma tabanlı YSA modeliyle İHA motorunun performansının ve uçuş süresinin maksimizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 360-367. DOI: 10.31590/ejosat.529093
- Konar, M. (2019). Redesign of morphing UAV's winglet using DS algorithm based ANFIS model. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*.
- Nichols, R. H. (2010). Turbulence models and their application to complex flows. *University of Alabama at Birmingham, Revision*, 4, 89.
- Oktay, T., & Kanat, O. O. (2017, October). A review of aerodynamic active flow control. In *8th international advanced technologies symposium (IATS'17)*.
- Prandtl, L. (1927). The generation of vortices in fluids of small viscosity. *The Aeronautical Journal*, 31(200), 718-741.
- URL-1. [https://www.cfd-online.com/Wiki/Turbulence\\_kinetic\\_energy](https://www.cfd-online.com/Wiki/Turbulence_kinetic_energy)
- Vinh, N. X. (1995). *Flight mechanics of high-performance aircraft* (Vol. 4). Cambridge University Press.



# Lojistik İncelemede Ayrımsama Performansının Değerlendirilmesi

Mehmet GÜRÇAN<sup>1\*</sup>, Mehmet Onur KAYA<sup>2</sup>, Nurhan HALİSDEMİR<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, Elazığ, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3641-8113)

<sup>2</sup> Fırat Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Biyoistatistik ve Tıp Bilişimi AD, Elazığ, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8052-0484)

<sup>3</sup> Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, Elazığ, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2151-7917)

(İlk Geliş Tarihi 18 Kasım 2019 ve Kabul Tarihi 19 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.654731)

**ATIF/REFERENCE:** Gürçan, M., Kaya, M. O., & Halisdemir, N. (2019). Lojistik İncelemede Ayrımsama Performansının Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1008-1013.

## Öz

Lojistik inceleme uygulamalı istatistiğin önemli materyallerinden birisidir. Veri yapısına bağlı olarak ayrımsama performansı önemli ölçüde etkilenebilir. Ayrımsama performansının istenen düzeyde olması kullanılan bağlantı fonksiyonunun esnekliğine doğrudan bağlıdır. Lojistik modeller de genellikle bağlantı fonksiyonu olarak büyüme eğrileri kullanılmaktadır. Kullanılan büyüme eğrisi veriyi adapte edilebilirse modelin ayrımsama performansı önemli ölçüde artabilir. Bazı durumlarda lojistik modellerde parametre tahminleri en çok olabilirlik yöntemiyle yapılamamaktadır. Bu durum araştırmacılar için önemli bir güçlük oluşturmaktadır. Yapılan çalışmada lojistik ayrımsamanın performansını artırabilmek için bağlantı fonksiyonu olarak Richard eğrisi kullanılmıştır. Buna bağlı olarak lojistik ayrımsamanın nasıl yapılacağı incelenmiştir. Büyüme eğrileri genel olarak birinci mertebeden diferansiyel denklemin çözümü olarak elde edilir. Dolayısıyla eğrinin parametreleri integral sabitleridir. İntegral sabitinin doğrusal olasılık modeline bağlı olarak modele yerleştirilmesi teorik olarak önemli bir bulgudur. Bunun yanı sıra diferansiyel denklemin oluşturduğu fonksiyonların seçiminde bulunulması da mümkündür. İlk olarak çalışmada lojistik ayrımsamada kullanılan Richard bağlantı fonksiyonunda bu şekilde bulunan parametrenin hesaplanması amaçlanmıştır. Eğrinin büküm parametresi hatalı sınıflanmış gözlemler incelenerek bağımsız değişken değerleri ile ilişkilendirilerek, lojistik ayrımsama dinamik bir yapıya kavuşturulmuştur. Lojistik inceleme için tasarlanan bu yapılar anksiyete bozukluğu olgularına ait 20, 40 ve 60 birimlik veri setlerinde değerlendirilerek yöntemin uygulanabilirliği ve ayrımsama performansı gösterilmiştir. İki grup lojistik modelde, yani bağımlı değişkenin iki değer aldığı lojistik modelde doğru sınıflama oranları 20, 40 ve 60 birimlik olgular için sırasıyla, %72,5, %66,3 ve %67,5 olarak bulunmuştur. Buna karşılık Richard bağlantı fonksiyonu kullanıldığında, hatalı sınıflanan gözlemler için eğrinin büküm parametresinin uygun seçilebilmesiyle bu oranlar sırasıyla, %82,5, 78,75 ve % 80'e kadar artırılabilmiştir. Yapılan uygulamadan da görüldüğü kadarıyla bağlantı fonksiyonunun büküm noktasının kontrol edilebilmesi lojistik incelemeyi dinamik bir yapıya sahip kılmaktadır. Buna ilaveten büküm parametresinin değiştirilebilmesi doğrusal olasılık modeline dokunulmaksızın yapılabilen ve bu sayede hatalı bulunan gözlemler içerisinde doğru sınıflama yapılabilir. Bu bağlamda büküm parametresinin bağımsız değişken değerlerine bağlı olarak hesaplanması bağımlı değişkenin olasılık değerlerini etkileyecek artımlarda bağlantı fonksiyonunun bu değişimi doğru bir şekilde yansıtmasını sağlar. Dolayısıyla bu durumların tümü dikkate alındığında lojistik ayrımsama modeli dinamik bir yapıya sahip olmuş olur.

**Anahtar Kelimeler:** Lojistik Model, Richard Modeli, Ayrımsama Sorunu.

## Assessment of Discrimination Performance in Logistics

### Abstract

Logistics analysis is one of the important materials of applied statistics. Discrimination performance can be significantly affected depending on the data structure. The desired level of discrimination performance is directly dependent on the flexibility of the link

\* Sorumlu Yazar: Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, Elazığ, Türkiye ORCID: 0000-0002-3641-8113, [mgurcan@firat.edu.tr](mailto:mgurcan@firat.edu.tr)

function used. In logistics models, growth curves are generally used as link functions. If the growth curve used can be adapted to the data, the discrimination performance of the model can be significantly improved. In some cases, parameter estimation in logistics models cannot be obtained by likelihood method. This issue a significant problem for researchers. In this study, we investigated how to do logistic discrimination by using Richard link functions. A parameter of logistic curve obtained from the solution of differential equation is an integral constant. The finding of the integral constant is possible that by means of linear probability model or the selection of functions that consist of the differential equation. Richard link function used logistic discrimination have intended to use for the calculation of the parameter. The incorrectly classified observations are examined by twist parameter of the curve. So, this twist parameter associated with the independent variable values and logistic discrimination adapt to a dynamic structure. This adaptation of applicability in method have emphasized a data set which contain people that have anxiety disorders 60 unit individuals with have not disorders 60 unit individuals. It is found to be correct classification rate of 67.5% when the dependent variable has binary logistic model. While using Richard link function, it is found correct classified rate up to %100 by means of the suitable twist parameter of the curve. As shown in the analysis, Richard link function has dynamic structure. The exchangeable of the inflection parameters can be made protecting Linear probability model, and thus in incorrectly of the observations can be correct classification of observations. The calculation of twist parameter as the independent variable values will affect the value of the probability, but as using the link function will be tolerate this change. Thus, the logistic discrimination model have converged a dynamic structure.

**Keywords:** Logistic model, Richard model, a problem of discrimination.

## 1. Giriş

Lojistik regresyon modellerinin kullanılması 1845’li yıllara kadar dayanmaktadır. Bu alandaki ilk çalışmalar  $y = y(x)$  eğrisinin diferansiyelinin  $c$  reel sabit olmak üzere aşağıdaki şekilde düzenlenmesiyle başlamıştır,

$$\frac{dy(x)}{dx} = cy(x)$$

Burada amaç fonksiyonun artım hızının yine fonksiyonun o noktadaki değerine bağlayabilmektir. Örnek olarak bir bölgedeki nüfus artış hızı doğal olarak bölgenin mevcut nüfusuna bağlı olacaktır. Ancak fonksiyonun artımı belli bir noktada doyuma ulaşabilmeli ve belli bir andan sonra sabitleşebilmelidir.

Daha sonraları bu diferansiyel denklemin çözümünü oluşturan eğrilerin sınırlı olabilmesi için reel bir  $\alpha$  üst sınırı denkleme eklenerek aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir,

$$\frac{dy(x)}{dx} = cy(x)[\alpha - y(x)]$$

Elde edilen bu son denklemin çözümünden  $\alpha = 1$  için aşağıdaki lojistik fonksiyon elde edilir [1, 2],

$$y(x) = \frac{\exp(c_1 + c_2x)}{1 + \exp(c_1 + c_2x)}$$

Burada  $c_1$  ve  $c_2$  reel sabitlerdir. Yukarıdaki eşitliğin tersi düşünüldüğünde doğrusal olasılık modeli aşağıdaki şekle dönüşür,

$$\begin{aligned} \ln \frac{y}{1-y} &= c_1 + c_2x \\ &= A(x) \end{aligned}$$

Doğrusal olasılık modelinin ikinci türevinin sıfıra eşit olduğu noktanın bulunması önemlidir. Bu nokta doğrusal olasılık modelinin büküm noktası olup lojistik ayırmsamanın yapılabilmesi için gereklidir. Birçok doğrusal olasılık modelinde büküm noktası  $y = \alpha/2$  olarak elde edilmektedir.

Diferansiyel denklem formunda verilen lojistik modeller genel olarak aşağıdaki şekilde genelleştirilebilir [3],

$$\frac{dy(x)}{dx} = g(y)[h(\alpha) - h(y)]$$

Burada  $h$  ve  $g$  fonksiyonları  $h(0) = g(0) = 0$  şartını sağlayacak şekilde artan fonksiyonlardır. Ayrıca  $x \rightarrow \infty$  ve  $x \rightarrow -\infty$  için  $y'(x) \rightarrow 0$  özelliği sağlanmaktadır. Özel olarak  $g(y) = cy$  ve  $h(y) = y$  olarak seçilirse denklemin çözümünden doğrusal olasılık modeli elde edilebilecektir. Yine bu fonksiyonların özel seçimleriyle Gompertz, Von Bertalanffy ve Richard lojistik modelleri gibi özel modeller elde edilebilmektedir. Richard eğrileri lojistik modeller içerisinde özel bir yere sahip olup bu modelde parametre sayısı fazla olduğundan lojistik ayırmsamada daha iyi ayırmsama yapabilmektedir. Richard eğrisi genel diferansiyel denklem yapısında

$$\begin{aligned} h(y) &= y^{m-1} \\ g(y) &= \frac{A'(x)y}{(m-1)\alpha^{m-1}} \end{aligned}$$

fonksiyonlarının özel seçimleriyle aşağıdaki diferansiyel denklemin



$$\frac{dy}{dx} = \frac{A'(x)y}{(m-1)\alpha^{m-1}} \{\alpha^{m-1} - y^{m-1}\}$$

çözümünden aşağıdaki şekilde elde edilir,

$$y(x) = \alpha \{1 + (m-1)\exp(-A(x))\}^{\frac{1}{1-m}}$$

Bu modelde  $m = 2$  alındığında standart lojistik model rahatlıkla elde edilebilir. Richard eğrisinin ikinci türevi aşağıdaki formdadır,

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{A'(x)}{(m-1)\alpha^{m-1}} \{\alpha^{m-1} - my^{m-1}\} \frac{dy}{dx}$$

Bu eşitlik kullanılarak  $y''(x) = 0$  için  $y_0 = \alpha m^{1/(1-m)}$  değeri dikkate alınacak olursa

$$x_0 = \frac{1}{A'(x)} \ln \frac{A'(x)}{m-1}$$

noktası bulunmuş olur. Bu nokta Richard eğrisinin büküm noktasıdır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Richard Modellerinde Parametrelerin Tahmini

Lineer olmayan modellerde model parametrelerinin tahmini için sıklıkla kullanılan yöntem en küçük kareler çözümüne lineer yaklaşımdır. Bu yaklaşımı Richard modeli için kullanacak olursak Richard eğrisini sadece lineer olacak şekilde Taylor serisine açmamız yeterli olacaktır. Bu durumda Richard eğrisini yaklaşık olarak temsil eden birinci dereceli Taylor polinomu aşağıdaki şekilde elde edilir [3,6],

$$y(x) \approx y(A_0(x, \theta)) + y'(A_0(x, \theta))(\theta - \theta_0)$$

Bu yaklaşım en küçük kareler çözümünde kullanılacak olursa hata kareler toplamı aşağıdaki şekilde olur,

$$HKT = \sum_{j=1}^n \{y_j - [y(A_0(x, \theta)) + y'(A_0(x, \theta))(\theta - \theta_0)]\}^2$$

Hata kareler toplamının parametrelere göre türevlerinden elde edilen denklem sistemi çözülerek modelin katsayıları bulunabilir. Yöntem ardışık olarak tekrarlanarak her defasında çözüme daha yakın değerler elde edilecektir.

$A(x, \theta) = a + bx$  şeklinde alınsın. Bu durumda denklem sistemi aşağıdaki şekilde olacaktır [4, 5, 7],

$$\sum_{j=1}^n \left\{ y_j - [y(a_0, b_0) + \frac{dy}{da}(a - a_0) + \frac{dy}{db}(b - b_0)] \right\} \frac{dy(a_0, b_0)}{da} = 0$$
$$\sum_{j=1}^n \left\{ y_j - [y(a_0, b_0) + \frac{dy}{da}(a - a_0) + \frac{dy}{db}(b - b_0)] \right\} \frac{dy(a_0, b_0)}{db} = 0$$

Richard eğrilerinde model katsayılarını barındıran doğrusal yapı  $A(x)$  kısmıdır. Bunun yanı sıra modelde doğrusal yapının dışında birde  $m \neq 1$  katsayısı bulunmaktadır. Eğri bu parametreye göre üstel olarak düzenlendiğinden bu parametre lineer yaklaşım yardımıyla tahmin edilememektedir. Bu parametrenin seçimi modelin kullanımını zorlaştırmakla birlikte modelin daha iyi tahmin yapabilme gücünü de artırmaktadır. Hatalı sınıflanan bazı gözlem değerlerini doğru sınıflayabilen bir  $m$  değeri bulmak mümkündür. Bu bakımdan sınıflama güclüğü bulunan sınır noktaları göz önüne alındığında bazı noktalar için  $m$  değeri bulunabilir.  $m$  değerinin belli bir aralıkta sürekli olarak deformasyonu analize bu kolaylığı sağlayabilecektir. Bir  $\tau$  parametresini,

$$\tau = \frac{1}{1 + e^{-m}}$$

olarak alacak olursak  $m \in (-\infty, \infty)$  için  $\tau \in (0,1)$  aralığında değişir. Bu ise bize hatalı sınıflanan bazı gözlemler için  $m$  değerinin doğru sınıflama yapabilecek şekilde değiştirilebileceğini garanti etmektedir.

### 2.2. Veri Yapısı

Çalışmanın verileri, Eylül 2010 ile Kasım 2012 tarihleri arasında, Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Psikiyatri Bölümünden toplanmıştır. Çalışmaya katılmış olan 120 olgunun, 60'ı kontrol ve 60'ı ise anksiyete bozukluğu olan hasta grubunu oluşturmaktadır. Çalışmada bağımlı değişken ( $y$ ), hastalık olup olmaması iken, bağımsız değişkenler ise yaş ( $x_1$ ), cinsiyet ( $x_2$ ), medeni durum ( $x_3$ ), meslek ( $x_4$ ), eğitim durumu ( $x_5$ ), kronik hastalık ( $x_6$ ), ailede psikiyatrik bozukluk ( $x_7$ ), ailede kronik hastalık ( $x_8$ ), STAI-I ( $x_9$ ) ve STAI-II ( $x_{10}$ ) ölçekleridir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Richard eğrilerinde mevcut olan parametreler klasik bağlantı fonksiyonlarına göre daha fazla olduğundan iki grup ayrımsama yapılan lojistik verilerde daha optimal sonuçlar vermektedir. Bundan dolayı yapılacak olan analizde lojistik bağlantı fonksiyonu olarak

Richard eğrisinin kullanılması lojistik ayırimsama yüzdesini daha yüksek hale getirecektir. Veri lojistik bağlantı fonksiyonu yardımıyla ayırimsamaya tabi tutulduktan sonra doğrusal olasılık modelleri aşağıdaki şekilde elde edilmiştir,

$$A_{20}(x) = 2,0335 - 0,0189x_1 + 0,4792x_2 - 0,0343x_3 - 0,9792x_4 - 0,9645x_5 + 1,1460x_6 + 0,2098x_7 - 0,0095x_8 - 0,2480x_9 + 0,2447x_{10}$$

$$A_{40}(x) = 0,7663 - 0,0024x_1 + 0,1888x_2 - 0,0503x_3 - 0,5845x_4 - 0,0107x_5 + 0,1240x_6 + 0,0225x_7 - 0,7878x_8 - 0,0002x_9 + 0,0257x_{10}$$

$$A_{60}(x) = -1,6260 - 0,0124x_1 + 0,7535x_2 - 0,0107x_3 - 0,8051x_4 - 0,1976x_5 + 0,0312x_6 + 0,8865x_7 - 0,7417x_8 + 0,0535x_9 + 0,0295x_{10}$$

Bu durumda lojistik model aşağıdaki şekilde tahmin edilmiştir,

$$\hat{y}_{20} = \{1 + 0,2383\exp(-A_{20}(x))\}^{-4,1963}$$

$$\hat{y}_{40} = \{1 + 0,6426\exp(-A_{40}(x))\}^{-1,5561}$$

$$\hat{y}_{60} = \{1 + 0,2424\exp(-A_{60}(x))\}^{-4,1249}$$

Tahmin modeli yardımıyla elde edilen doğrusal olasılık modelinin değerleri ve y değerlerinin tahmini olasılıkları aşağıdaki tabloda olduğu gibi hesaplanmaktadır,

Tablo 1. 60 birimlik veri için hatalı sınıflanan gözlemlerin tahmin değerleri

Sıra No:	Gözlem No:	A(x)	$\hat{y}(x)$	y	m	$\hat{y}_m$
1	1	1,4492	0,7969	0	-1,2901	0,0508
2	2	2,4982	0,9222	0	-2,3698	0,0728
3	4	3,6440	0,9744	0	-6,2645	0,1904
4	10	0,8056	0,6558	0	0,1426	0,1248
5	13	1,4492	0,7969	0	-1,6163	0,1929
6	16	2,4982	0,9222	0	-2,3948	0,1410
7	25	2,0780	0,8846	0	-3,8431	0,1707
8	29	1,8835	0,8621	0	-1,1769	0,0617
9	32	3,6440	0,9744	0	-6,2645	0,1544
10	35	2,0780	0,8846	0	-3,8409	0,1208
11	50	0,8316	0,6625	0	-0,6679	0,0878
12	57	1,8835	0,8621	0	-0,6879	0,1968
13	63	-0,6827	0,1995	1	76,3826	0,9363
14	65	-0,1438	0,3627	1	94,2889	0,9437
15	71	-1,0627	0,1126	1	47,5533	0,9057
16	78	-0,1425	0,3635	1	54,3558	0,9161
17	84	-0,7899	0,1726	1	94,8564	0,9474
18	87	-0,3482	0,2972	1	82,7804	0,9465
19	89	0,3132	0,4920	1	98,8593	0,9545
20	91	-0,3753	0,2890	1	88,2001	0,9449
21	96	-0,0519	0,3932	1	64,1917	0,9283
22	100	-0,4119	0,2777	1	81,4546	0,9398
23	108	-0,4119	0,2777	1	95,3915	0,9469
24	111	-0,4308	0,2712	1	96,5696	0,9530

Hazırlanan tabloya dikkat edildiğinde 24 adet gözlem analiz sonucu hatalı olarak sınıflanmıştır. Hatalı sınıflanmış gözlemlerden 12 tanesi sıfır grubunda olması gerekirken bir grubuna atanmış 12 tanesi ise bir grubuna atanması gerekirken sıfır grubuna atanmıştır. Geri kalan 96 adet gözlem ise doğru olarak sınıflandırılmıştır. Bu durumda kullanılan lojistik modelin doğru sınıflama oranı %80 olmaktadır.

Toplam 120 adet gözlemden 24 tanesi modelde istenilen tahmini olasılık değerini vermemektedir. Ancak üstel kısmı  $A(x)$  şeklinde hesaplanan Richard eğrisi tanımlı olduğu bölge üzerinde  $m$  parametresi değiştirilerek hareket ettirilebilmektedir. Bu hareket ettirme esnasında hatalı olarak sınıflanmış 24 adet gözlemin tamamı  $m$  değerinin belirli sabitlerinde istenilen olasılık değerlerine sahip olabilmektedirler. Bu durumda hatalı gözlemleri yeniden analiz ederek doğru sınıflama şansına sahip olmaktadır.  $\hat{y}$  değeri Richard eğrisi yardımıyla hesapladığımız tahmini olasılık değeri olmak üzere aşağıdaki denklemi Richard eğrisinden yazabiliriz,

$$\hat{y}^{1-m} + (1 - m) \exp(-A(x)) - 1 = 0$$

Bu denklemin  $m$  parametresine göre çözümü incelenen gözlem için doğru sınıflamayı yapabilen modeli oluşturacaktır. Denklemin ifadesine dikkat edilecek olursa  $m = 1$  denklemin aşikar çözümüdür. Ancak  $m \neq 1$  olması gerektiğinden denklemin 1 değerinden farklı çözümlerinin bulunması gerekmektedir. Bazı olasılık değerleri için bu çözüm bulunabilmekte bazı değerler için ise bulunamamaktadır. Tabloda denklemin tüm hatalı gözlemleri için  $m$  değeri hesaplanabilmektedir. Bu sayede hatalı sınıflanmış gözlem sayısı 24 gözlemden 0 gözleme indirgenmiş ve doğru sınıflama yüzdesi ise %80'den %100'e yükseltilebilmiştir. Bu gözlemlerin  $m$  değerleri ve olasılık tahminleri tablonun son iki sütununda yer almaktadır.

Tabloda yer alan  $m$  değerleri ilgili gözlemlerin değişkenleri dikkate alındığında aşağıdaki gibi lineer şekilde ifade edilebilmektedir,  $m = 62,004 + 0,605X_1 - 2,359X_2 - 4,748X_3 + 14,144X_4 + 23,463X_5 - 3,581X_6 - 24,440X_7 + 6,576X_8 - 3,230X_9 + 0,817X_{10}$

Var olan bu ilişkinin Richard bağlantı fonksiyonunda kullanılması  $m$  parametresinin gözlem değerine göre değişmesini ve eğrinin daha optimal ayrımsama yapabilmesini sağlamaktadır.

Diğer taraftan çalışmadan elde edilen doğru sınıflandırma oranları ROC analizi ile değerlendirildiğinde elde edilen bulgular aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Tablo 2. Bağlantı Fonksiyonlarına Ait ROC Analizi Sonuçları

Değişkenler	Eğri Altında Kalan Alan (AUC)	%95 Güven Sınırları		p-değeri
		Alt Sınır	Üst Sınır	
Lojistik Bağlantı Fonksiyonu	0,780	0,698	0,862	<0,001
Richard Bağlantı Fonksiyonu	0,791	0,707	0,875	<0,001

Tablo 2 incelenecek olursa, her iki bağlantı fonksiyonunun da eğri altında kalan alan değerlerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülecektir. Bununla beraber Richard fonksiyonuna ait alanın daha büyük olduğu da görülmektedir.

## 4. Sonuç

Tıbbi bir veri incelenirken amaç hastalığın teşhis edilmesi olduğunda veya bazı değişkenlerin hastalığın teşhisinde önemli olup olmadığını belirlenmesi olduğunda yapılan en önemli analizlerden birisi lojistik ayrımsama. Bu çalışmada da lojistik ayrımsama tekniği Richard bağlantı fonksiyonları yardımıyla yapılmaya çalışılmıştır.

Lojistik regresyon analizinin diğer ayrımsama tekniklerine göre birçok üstün yönleri bulunmasına karşılık lojistik bağlantı fonksiyonu ve doğrusal olasılık modeli birbirlerine eşitlendiğinde bağlantı fonksiyonu dönüşümünün yapısından dolayı bağımsız değişkenin küçük farklılıklar göstermesi durumunda olasılık değerleri bu farklılıkları tolere edememektedir. Bu yüzden lojistik ayrımsamada aşırı hatalara neden olunabilir. Bu problemin çözülmesi oldukça güçtür. Bu aşamada araştırmacının en kolay alternatifi bağımsız değişken sayısının azaltılması yani aşırı farklılıklara neden olan ve tolere edilemeyen değişkenlerin modelden çıkartılması olmaktadır. Tıbbi bir veri yapısında herhangi bir hastalığın teşhisinde bağımsız değişkenlerin doğru olarak seçilmesi oldukça önemlidir. Lineer model yapısında bağımsız değişken sayısının artırılması modelin uyumunu artırırken ve aynı zamanda yanlış seçilmiş bir bağımsız değişkenin modelde etkisinin olmaması sağlanabilirken lojistik ayrımsamada bu mümkün olmamaktadır. Bu yüzden lojistik ayrımsamalarda ilgili bağımsız değişkenlerin seçimi oldukça önemlidir.

İncelemesi yapılan 60 anksiyete bozukluğu ve 60 da kontrol olmak üzere 120 olgunun verilerinin lojistik bağlantı fonksiyonu ile ayrımsaması yapıldığında modelin doğru ayrımsama yapma oranı düşük (%67,5) çıkmaktadır. Bu aşamada Richard bağlantı fonksiyonu kullanıldığında doğru sınıflama oranı %80'e ulaşmaktadır. Yapılan uygulamada hatalı sınıflanmış gözlemler tekrar ele alınarak bağlantı fonksiyonunun büküm parametresinin uygun seçimiyle ayrımsama performansını büyük ölçüde artırılmıştır. Yapılan analizdeki gibi Richard bağlantı fonksiyonu, lojistik modeli dinamik bir yapıya çevirir. Büküm parametresinin değiştirilebilmesi önemli bir teorik bulgudur. Bu sayede doğrusal olasılık modeline dokunulmaksızın hatalı bulunan gözlemlerin içerisinde doğru sınıflama gerçekleştirilebilir. Büküm parametresinin bağımsız değişken değerlerine bağlı olarak hesaplanması olasılık değerini etkileyecek

artımlarda bağlantı fonksiyonunun bu değişimi doğru bir şekilde yansıtabilmesini sağlar. Bu sayede lojistik ayrımsamanın performansı artırılabacaktır.

## **Kaynakça**

- [1] Öner, Y., Gürcan, M. & Halisdemir, N. (2005). On Continuous Deformation of Richards Family. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 375-377.
- [2] Gürcan, M. & Öner Y. (2001) On The Existence Problem in Logistic Regression Models By Alternative Form", *Adv.& Appl. in Stat.*, 165-174.
- [3] Seber, G.A.F. & Wild, C.J. (1989). *Non Linear Regression*. Jhon Wiley and Sons, Inc. New York.
- [4] Beltran, J.J., Butts, W.T. Jr., Olson, T.A. & Koger, M. (1992). Growth patterns of two lines of angus Calve selected using predicted growth parameters. *J. Anim. Sci.*, 70, 734-741.
- [5] Roush, W.B., Dozier, W.A. 3rd, & Branton, S.L. (2006). Comparison of Gompertz and neural network models of broiler growth. *Poult Sci.*, 85(4), 794-7.
- [6] Delgado J. & Pena J.M. (2003). A linear complexity algorithm for the bernstein basis. In *IEEE Int. Conf. on Geometric Modeling and Graphics (GMAG'03)*, 162-167.
- [7] Kaya, MO. & Kilic, MB. (2008) *Lojistik Modelde Bernstein Polinomlarının Kullanılması*. VI. İstatistik Günleri Sempozyumu, Samsun.



# The Developments of piezoelectric Materials and Shape Memory Alloys in Robotic Actuator

Safar Saeed Mohammed<sup>1,2\*</sup>, Mediha K k<sup>1</sup>, Ibrahim Nazem Qader<sup>1,2</sup>, Fethi Dağdelen<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Firat University, Faculty of Science, Department of Physics, Elazig, Turkey (ORCID:0000-0003-4804-2632; 0000-0003-1167-3799)

<sup>2</sup> University of Raparin, College of Science, Department of Physics, Sulaymaneyah, Iraq (ORCID:0000-0003-4804-2632; 0000-0001-7404-4311)

(First received 1 December 2019 and in final form 22 December 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.653751)

**ATIF/REFERENCE:** Mohammed, S. S., K k, M., Qader, I. N. & Dağdelen, F. (2019). The Developments of piezoelectric Materials and Shape Memory Alloys in Robotic Actuator. *European Journal of Science and Technology*, (17), 1014-1030.

## Abstract

There is a high demand for functional smart materials, especially for new material groups in advanced Technologies. These materials are used in the actuator, sensor, control systems, and robotic systems, in addition, they can be hybridized with traditional material to create a particular function. Piezoelectric materials and shape memory alloys are the most important families among these groups. This review includes an overview of shape memory alloys (SMAs) and piezoelectric material actuator systems in terms of robotic applications. The theoretical background of each SMAs and piezoelectric materials is well explained. Different types of each system are interpreted. Using actuator-based SMAs and piezoelectricity in the robotic area is extensively overviewed. Some weaknesses and challenges facing such systems have discussed through recent studies in the literature.

**Keywords:** Piezoelectric Materials; Shape Memory Alloys; Actuators; Robotic Actuator Systems

## Robotik Akt at rde Piezoelektrik Malzemelerin ve Şekil Hatırlamalı Alaşımların Gelişimi

###  z

Teknolojik Gelişmeler içinde, yeni bir malzeme grubu olan, fonksiyonel akıllı malzemelere yüksek oranda bir talep vardır. Bu malzemeler geleneksel malzemelerin işlevleri dışında, aktüatör (harekete geçirici), sensör, kontrol sistemleri ve robotik sistemlerinde kullanılırlar ve Bunlardan en önemli iki tanesi; piezoelektrik malzemeler ve Şekil hatırlamalı alaşımlardır. Bu derlemede, Şekil hatırlamalı alaşımlar (ŐHA) ve piezoelektrik malzemelerin aktüatör sistemlerini inceleyen genel bir bakış içerir. ŐHA lar ve piezoelektrik malzemelerin herbirinin teorik özellikleri detaylı bir Şekilde izah edildi. Her iki sistemin farklı eşitleri değerlendirildi. Robotik alandaki aktüatör tabanlı ŐHA ve pizeoelektrikler geniş bir Şekilde incelendi. Bu sistemlerin karşı karşıya kaldığı bazı zayıflıklar ve zorluklar literatürdeki son çalışmalar ile tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Piezoelektrik malzemeler; Şekil hatırlamalı Alaşımlar; Aktüatörler; Robotik aktüatör sistemler

\* Corresponding Author: University of Raparin, College of Science, Department of Physics, Sulaymaneyah, Iraq and Firat University, Faculty of Science, Department of Physics, Elazig, Turkey ORCID:0000-0003-4804-2632, [safar.saeed@raparinuni.org](mailto:safar.saeed@raparinuni.org)



## 1. Introduction

Nowadays, technology has a major and powerful role in human life, and it is very important to develop civilization (Arber, 2009; Carneiro, 1974), society (Drucker, 2012), and education (Chance, Ben-Zvi, Garfield, & Medina, 2007). Also, it has an answer to most of our daily problems. The technology is multidisciplinary with a combination of imagination, material science, and engineers who could arrange all together to solve the existing problems. It can be seen that technology with all complexity could change lifestyle and gives another form to citizens and countryside people. In the previous centuries that technology had no absolute authority, life was simple however it was very tough without technology. However today technology controlled every scope of daily life, and there are many activities that cannot be performing without technology, so there is no escape from them (Prensky, 2008).

One of the advanced fields of technology is robotic. Robotics in this modern age has a big influence on various fields such as surgery, service, automotive, food, engineering, and education (Advincula & Song, 2007; Brose et al., 2010; Chua, Ilschner, & Caldwell, 2003; Jacobsen, Berger, & Horgan, 2003; Karabegović, 2016; Kawamura, Bagchi, Iskarous, & Bishay, 1995; Mubin, Stevens, Shahid, Al Mahmud, & Dong, 2013; Qader, Kök, Dağdelen, & Aydogdu, 2019; Robins, Dautenhahn, Te Boekhorst, & Billard, 2005; Roth, 2002). Inventors and designers in the robotic field are continuously trying to improve robotic systems, by designing new types of robots and improving the quality of them using high-quality primary materials. Since shape memory alloys and piezoelectric materials have interesting behaviors, so they role as sensors and actuators in robotic systems (Culp, 1992; B. Kim, Lee, Lee, Kim, & Lee, 2006; Y. Tanaka & Yamada, 1991).

SMAAs are easily recovered to their original shape after deformation, this feature is so called shape memory effect (Buytoz, Dagdelen, Qader, Kok, & Tanyildizi, 2019; Dagdelen, Aldalawi, Kok, & Qader, 2019; Dagdelen, Kok, & Qader, 2019; Kök et al., 2020; Kök, Zardawi, Qader, & Kanca, 2019; Qader, Kök, & Dağdelen, 2019), because of this property SMA-based actuators are applied in a locomotion robot, manipulator and microrobot (Y. Tanaka & Yamada, 1991). Also, piezoelectric materials capable to convert mechanical energy into electrical energy and conversely by applying an external force they can make a voltage. These abilities are known as the piezoelectric effect (Jaffe, 2012; Kolesar, 1998). Therefore piezoelectric materials can also be handled as an actuator in robotic systems (Culp, 1992; Dadfarnia, Jalili, Xian, & Dawson, 2003; Hunter, Hollerbach, & Ballantyne, 1991; Tzou, Lee, & Arnold, 2004).

In this review, it is aimed to focus on some background about robotic actuator systems, and it has demonstrated some brief information about SMAAs, and piezoelectric materials, and their applications in the robotic systems as an actuator.

## 2. Theoretical Background

Recently, smart materials controlled a wide range of modern technology. Smart materials are used by engineers and designers to improve the traditional inventions. Smart materials are novel materials that can solve some complexity, spatially in actuating systems (Addington & Schodek, 2012). Among all types of smart materials, piezoelectric and SMAAs having more applications comparing to the other families, because they have piezoelectric effect and shape memory effect, respectively.

### 2.1. Piezoelectric Materials

A piezoelectric material is a type of smart material that able to convert electrical potential energy (voltage) into mechanical energy. Conversely, when it is squeezed or elongated by an external force, electrical potential energy can be obtained, which its polarity depends on the type of deformation (Figure 1) (Starr & Wang, 2015; Tichý, Erhart, Kittinger, & Privratska, 2010). Thus the piezoelectricity is a reversible process. The converse piezoelectric effect, where the piezoelectric material deforms by applying a voltage, is used for accurate actuation and running in some control applications, while the direct effect is used for sensor applications (Kolesar, 1998; Tzou et al., 2004; Tzou & Natori, 2001).

**Table 1.** Common piezoelectric materials (Tzou et al., 2004).

Natural Piezoelectric materials	Synthetic Piezoelectric materials
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Single crystal (Quartz crystals, Rochelle salt, Lithium niobate, etc.)</li> <li>➤ Nano crystalline (Rubber glass, parafine, etc.)</li> <li>➤ Biological (Dry bone, enamel, etc.)</li> <li>➤ Nonbiological (Rochelle salt, silicon oxide (Sio<sub>2</sub>), etc.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Crystalline (Gallium phosphate (GaPo<sub>4</sub>), Lithium sulfate (SI<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), etc.</li> <li>➤ Ceramic (lead lithium zirconate titanate (PLZT), Zinc oxide (ZNO), etc.</li> <li>➤ Polymer (Polyvinylidene fluoride(PVF<sub>2</sub>), lead zirconate titanate (PZT), etc.</li> </ul>

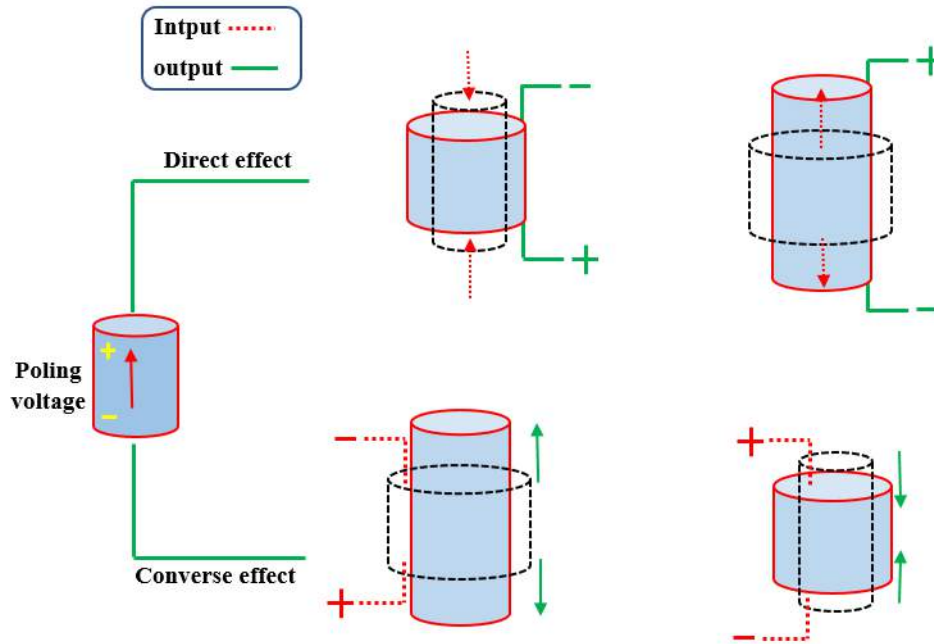


Figure 1. Direct and inverse Piezoelectric effects (Jbaily & Yeung, 2015).

Historically, in the 1880 piezoelectricity phenomenon was observed, by Curie brothers (Jacques and Pierre). They detected a sign of electricity when they applied a mechanical pressure to a quartz crystal. Also, a strain was observed when they applied an electrical field to that quartz. Piezoelectricity is an electromechanical process that has coupling elastic (i.e. dynamic coupling) field and the electric (i.e. static coupling) field (Figure 2) (Tichý et al., 2010; Tzou et al., 2004).

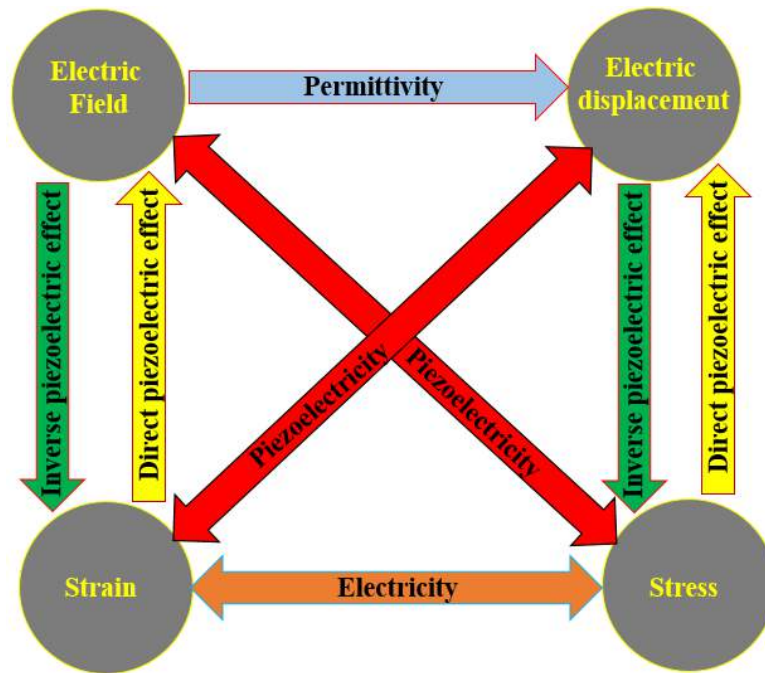


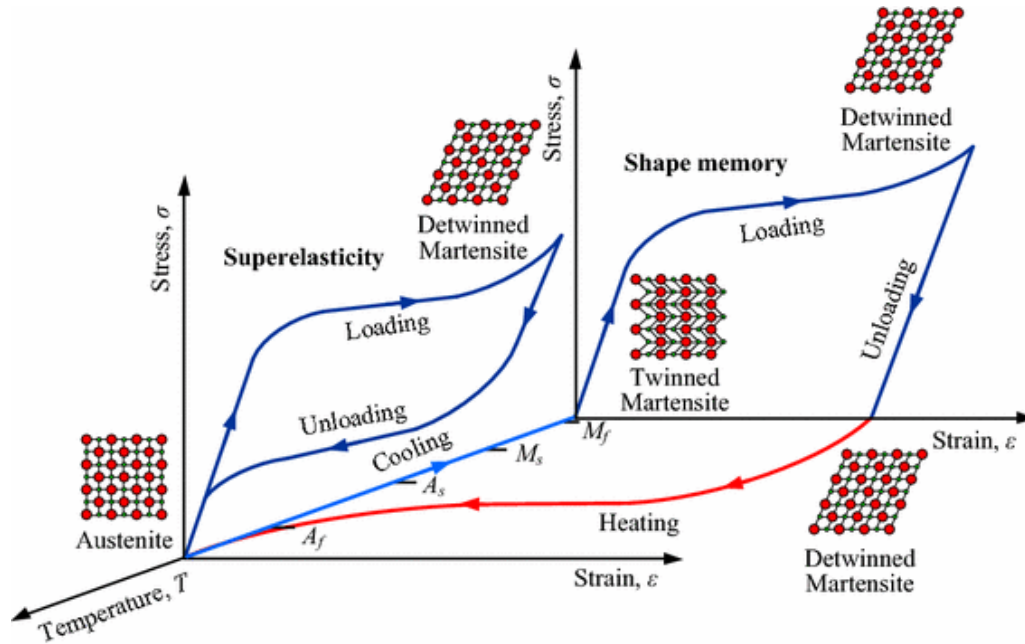
Figure 2. Piezoelectricity (electromechanical coupling) (Tzou et al., 2004).

Many common natural and synthetic piezoelectric materials are listed in Table 1. The synthetic materials are non-piezoelectric, but when a high electric field at an elevated temperature is applied to them they get piezoelectric property. (Dökmeçi, 1983).

## 2.2. Shape Memory Alloys

A shape memory alloys (SMA) is a class of advanced materials (Alaneme & Okotete, 2016; Jani, Leary, Subic, & Gibson, 2014). They have two main phases which are austenite and martensitic. Austenite is a high-temperature phase, where the SMAs are more

rigid, whereas in the martensite is known as the low-temperature phase. SMAs can be easily strain recovered (Figure 3) (Ma, Song, & Lee, 2004; Toru, 2008). A SMA can transform from martensite to austenite phase, when its temperature is increased and (Aydoğdu et al., 2016; Dağdelen, Malkoç, Kök, & Ercan, 2016; Kök & Ateş, 2017; Qader, Kök, & Dağdelen, 2019). Also, SMAs have the ability to memorize their previous shape when their temperature elevated to the high-temperature phase, this behavior is known as shape memory effect (SME) (Alaneme & Okotete, 2016; Bogue, 2009; Ochoński, 2010; Qader, Kök, & Dağdelen, 2019; Rao, Srinivasa, & Reddy, 2015). There is three known SME that have been explained in the next subsections (Toru, 2008).



**Figure 3.** Schematic diagram of different phases of a SMA. Superelasticity (SE) and shape memory effect (SME) are the two important characteristics of a SMA (B. Wang & Zhu, 2018).

### 2.2.1. One-Way SME

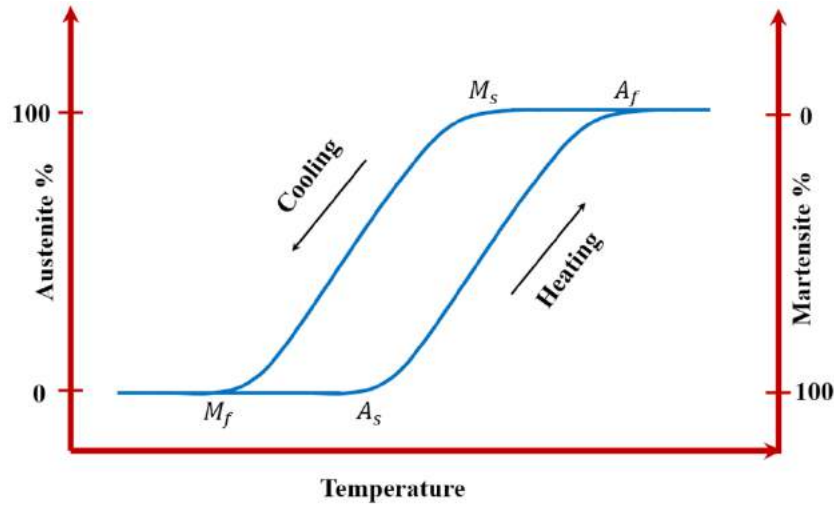
Normally, similar to other conventional materials, a SMA undergoes a plastic deforming, it can return to its previous state when it heated up to above critical temperature (eutectoid temperature) (Sofla, Elzey, & Wadley, 2008). Therefore one way SME is one of the fundamental key points in SMA-based actuators (Toru, 2008).

### 2.2.2. Two-Way SME

Unlike one-way SME, a two-way-SMA can show SME in either higher temperature or lower temperature phase. Thus, it can be given two different original forms through a training process (W. Huang & Toh, 2000).

### 2.2.3. Pseudoelasticity

Pseudoelasticity (or superelasticity) is another superior of SMAs that let them to directly recover their original shape and size in an isothermal process. The applying force just transforms crystal structure of the alloy from austenite to martensite phase and after removing the load the alloy can strain to recover with consuming some energy into heat, which produced through the friction of moving atoms during phase transformation process (Otsuka & Shimizu, 1986).



**Figure 4.** Transformation temperatures curve (Toru, 2008).

The transformation temperature of SMAs is one of the most important factors in all SMA-based technologies. Figure 4 shows transformation parameters, including austenite start ( $A_s$ ), austenite finish ( $A_f$ ), martensite start ( $M_s$ ), and martensite finish ( $M_f$ ). Also, temperature hysteresis is a range of temperature between austenite and martensite phase transitions (Ercan, Dagdelen, & Qader, 2019; Kok, Al-Jaf, Çirak, Qader, & Özen, 2019; Kök et al., 2020; Toru, 2008). The SMAs are classified into SIMA (class I) and (class II), which has  $A_s > M_s$  and  $A_s < M_s$ , respectively.

## 2.3. Actuators

Actuators are mechanical devices that are utilizing to perform various types of movements. They have different functionalities, which depends on technological systems. Some application areas with some related examples have been listed in Table 2 (Huber, Fleck, & Ashby, 1997; Mavroidis, 2002). Generally, all converts an additional type of energy (e.g. electricity, flowed air, and liquid) into a mechanical motion (Cattafesta III & Sheplak, 2011; Huber et al., 1997; Janocha, 2004; Tan, 2002).

### 2.3.1. Types of Actuators

Depends on the principle of working, and its primary materials, actuators can be classified into several types (Cura, Cunha, Aguiar, & Cliquet Jr, 2003; Huber et al., 1997; Pons, 2005).

- a. Piezoelectric actuators
- b. Shape memory alloy actuators
- c. Magnetostrictive actuators
- d. Thermal expansion actuators
- e. Hydraulic and pneumatic actuators
- f. Electromagnetic actuators
- g. Natural actuators
- h. Actuators based on material state changes

All of these types of actuators have special properties, so it makes them be used in various areas and different technological fields. Among the aforementioned types of actuators, both piezoelectricity and SMA-based actuators have been focused on in this study. Also, their applications are specified for robotic systems.

**Table 2.** Some application areas of actuators (Huber et al., 1997).

<b>Field</b>	<b>Examples</b>
Aerospace	Flight control surfaces (Addington & Schodek, 2012) Landing gear movement (Howard & Walker, 1993) Nose wheel steering (Bennett, Mecrow, Atkinson, Maxwell, & Benarous, 2011) Air brakes (Uttley, Chambers, Blackwell, & Weller, 2002) Powered doors/hatches (S. G. Kim, Franklin, & Conner, 1995)
Automotive	Braking (Solmaz, Akar, & Shorten, 2008) Tappets (Duchaud, Hlioui, Louf, Ojeda, & Gabsi, 2014) Active suspension (Poussot-Vassal et al., 2008) Active engine mounts (Swanson, 1993) Airbag deployment (Yasui & Naito, 1981)
Industrial equipment	Automation equipment (Book, 1986) Numerically controlled (Kumbhar & Gawade) Machines (Nakao, Tokunaga, Yamane, & Saka, 1999; Schoeny & Nelson, 2007; Yoichi, 2006) Presses (Shimao, Inoue, & Kurata, 2013) Lifting equipment (Yongning & Fengbai, 1988)
Electrical goods	Automatic switches/thermostats (Huber et al., 1997) Video/compact disc reading head (Huber et al., 1997) Camera auto-focus (Goldenberg, Shabtay, Mendlovic, & Kali, 2014)
Developing technology	Active control of structures (Balamurugan & Narayanan, 2008) Vibration suppression (Denoyer & Kwak, 1996) Active materials (J.-S. Park & Kim, 2005) Surgical equipment (Culjat et al., 2008) Robotics (Daerden & Lefeber, 2002; Daerden, Lefeber, Verrelst, & Van Ham, 2001; De Rossi, Suzuki, Osada, & Morasso, 1992; Hines, Petersen, Lum, & Sitti, 2017; Kheirikhah, Rabiee, & Edalat, 2010) Space structure deployment (Y. S. Park et al., 2005)
Instrumentation	Atomic force microscope (Sulchek et al., 1999)

### 2.3.1.1. Piezoelectric Actuators

This type of actuator has widely used in modern technology because it has a fast response to applied signals and has high stiffness (Addington & Schodek, 2012; Dosch, Inman, & Garcia, 1992; Lee, 1990; Smith et al., 2012; Uchino, 2017). Piezoelectric actuators are based on their elementary materials that are piezoelectric materials. Piezoelectric materials have an interesting behavior that is called the piezoelectric effect. This effect has two states, which are direct and converse piezoelectric effects. Basically, a piezoelectric actuator shows a piezoelectric effect, where the material able to convert electrical energy into a deformation, which consequently can be utilized as a mechanical motion (Figure 1a) (Chuanzhong, 1993). The magnitude of the piezoelectric effect is based on the applied electrical field.

These actuators have a small size and low mass density. Moreover, since they have a high range of power density and they have a high torque (Cura et al., 2003), therefore they have plenty of technological applications in automotive, aerospace, and biological and medical purposes. They are one of the best-known actuators for robotic systems because they have high bandwidth, high power density and ability to operate on direct current (DC) without need for lubrication or cooling. Also, they can be handled in a miniaturized device because they are simple and have a comparably small size (Oldham, Rhee, Ryou, Polcawich, & Pulskamp, 2009; Wood, Steltz, & Fearing, 2005). If a thin-film piezoelectric actuator integrated with microstructure of silicon and polymer, it can produce a torque of motion in robotic legs (Oldham et al., 2009).

### 2.3.1.2. SMA-based Actuators

SMA-based actuators are one of the interesting types of actuators that have more applications in modern technology (Chaudhry & Rogers, 1991; Colorado, Barrientos, Rossi, & Breuer, 2012; K ok et al., 2020; Seelecke & Muller, 2004; Webb, Lagoudas, & Kurdila, 1998) because they possess an ability known as shape memory effect (SME). Therefore a deformed SMA able to return to its original



form by aid of a convenient stimulus (Alaneme & Okotete, 2016; Bogue, 2009; Ochoński, 2010; Qader, Kök, & Dağdelen, 2019; Rao et al., 2015).

Although SMA-based actuators have small and compact size, they are used for advanced systems because they can produce a large actuating force (200 MPa), which 570 times as larger as human muscle force (Hunter & Lafontaine, 1992), and 25 times as greater as the force produced by electro-active polymer (EAP) (Mavroidis, 2002; Pelrine & Kornbluh, 2003). Furthermore, SMA-based actuators have three basic types, including one-way, biased, and two-way SMA actuators (Figure 5). Figure 5a shows a wire that can only recover its predetermined shape (e.g. coiled form) when heated up to the austenite phase, it is an example of a one-way SMA actuator. Although the first type that heat energy is the stimulus force for strain recovery, Figure 5b demonstrates a in biased SMA-based actuators that biased by another spring which returns the SMA to its original shape through the restoring force. The spring, before installation, is deformed in the high-temperature phase (austenite), and thus, the energy is stored in the spring as potential energy. This stored energy can release when the SMA cooled until it transforms from austenite to transform the martensite phase. The bias spring can be used to return the deformed SMA to its original shape, which makes a movement. The biased type of SMA is a hybrid system and based on the heating/cooling process (Figure 5b). Lastly, the two-way SMA-based actuator is similar to biased SMA actuators, can continuously produce movement with the opposite direction but two opposing SMA wires are used instead of biased spring (Liang & Rogers, 1992).

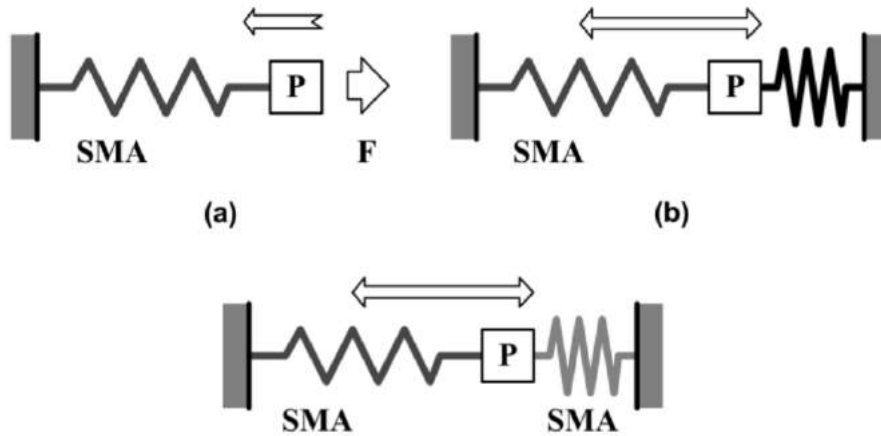
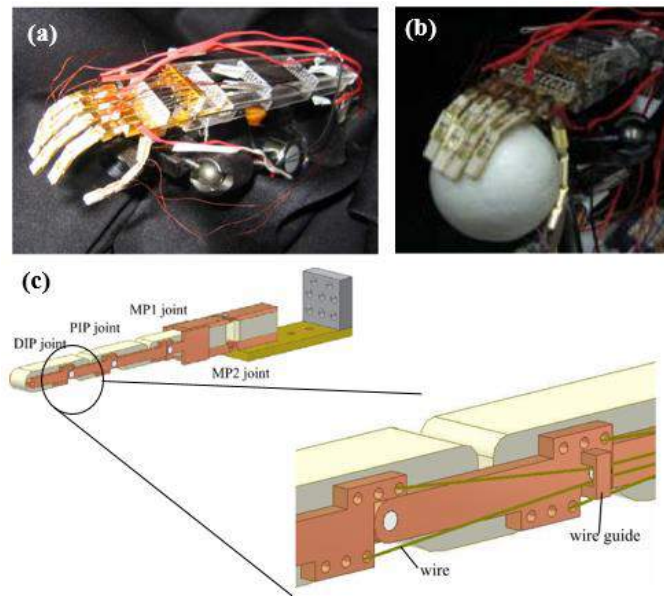


Figure 5. (a) One-way, (b) Biased, and (c) two-way SMA-based actuator (W. Huang, 2002).

### 3. Applications

#### 3.1. Fingered Robot Hand

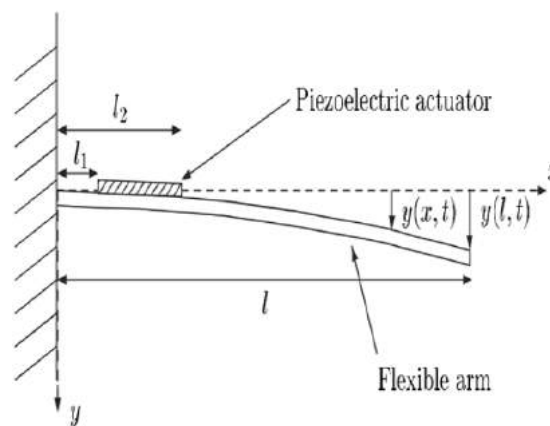
There is a plenty prototype that proposed robot hand with different mechanisms. In these prosthesis different type of actuators have been used with various materials properties (Ahmadi et al., 2015; Price, Jnifene, & Naguib, 2007; Villoslada, Flores-Caballero, Copaci, Blanco, & Moreno, 2014). Takashi Maeno et al. (Maeno & Hino, 2006) proposed a five-figure robot hand with four degrees of freedom (DOF) per figure, which was similar to a real human hand. SME was utilized to move each movable part in its pre-given function. Figure 6a shows the entire prototype of the miniature robot hand in its normal mode. The robot is monitored to pick up a sphere with all fingers (Figure 6b). Each part of a finger is labeled in Figure 6c. Each band can be controlled with a wires SMA through flipflopping between austenite and martensite phases, which gives two different modes to each band.



**Figure 6.** (a) The entire prototype of the miniature robot hand. (b) Picking up a ball by all fingers of the robotic hand. (c) Three-dimensional image for one of the fingers (Maeno & Hino, 2006).

### 3.2. Robotic Arm

The robotic arm is one of the important parts of robotic technology, which is paid attention by engineers. The robot should be programmed such that it almost has the same functionality as a human arm, i.e. the robotic arm has to bands in its fingers and all together should work in harmony. Therefore, organizing or controlling the motion and vibration of the robotic arm is very important. A. Inoue and M. Deng (Inoue & Deng, 2007) were used as an adaptive controller to monitor the vibration of a flexible arm in a robotic system. They used a piezoelectric actuator as an adaptor (Figure 7), because this kind of actuator has a small size and low mass, therefore it was embedded along the robotic arm.

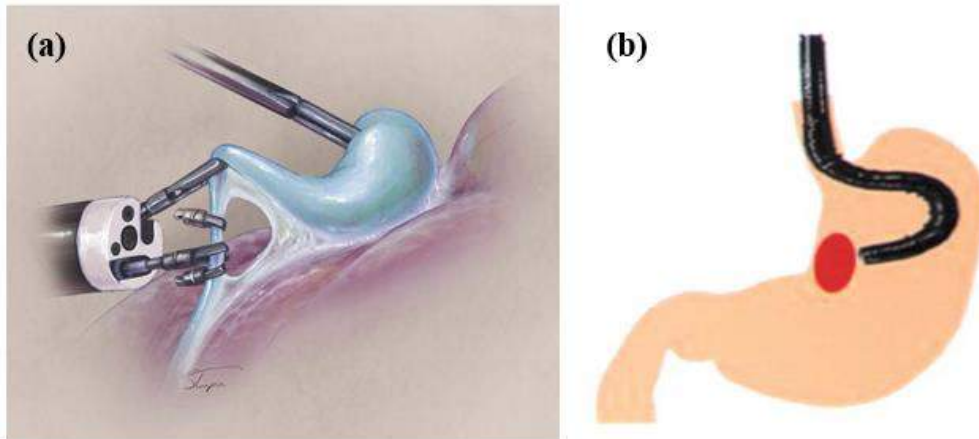


**Figure 7.** Flexible robotic arm with a piezoelectric actuator controlled by an adaptor (Inoue & Deng, 2007).

### 3.3. Endoscopic Robotic Surgery

Robots have made endoscopic surgery easier and profession. In this operation, a robot sends into the related human body for looking at the corresponding organs to diagnose and performing a proper operation on the targeted organ (Quinones-Hinojosa, 2012). Also, sometimes it can be used for sucking out obstructing material (e.g. sediment dregs inside the body or sampling a small part of an organ for medical testing) with tiny forceps (Figure 8). There are some actuators embedded in the robot, which are made as spring with shape memory property. These actuators give a snake-like motion to the protheses and can control its motion. Ikuta et al. (Ikuta, Tsukamoto, & Hirose, 1988) used an actuating system based on SMA with electric resistance feedback to improve the active

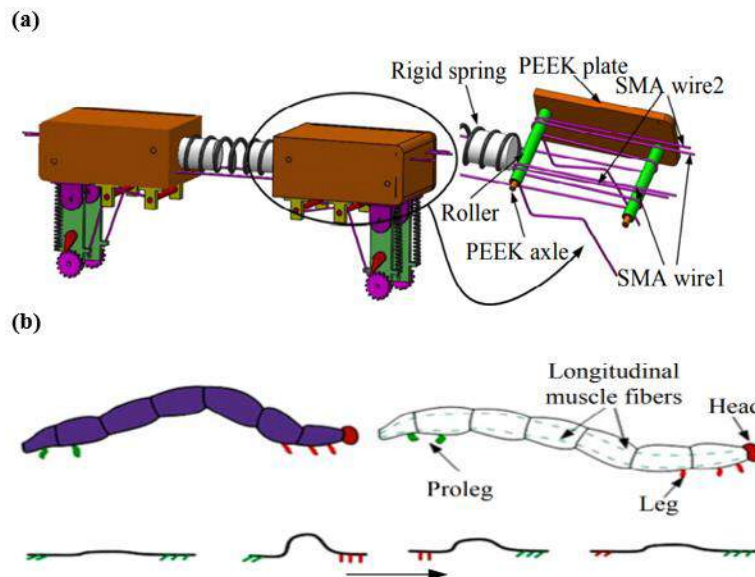
endoscope. Also, L Liu, et al. (Liu, Towfighian, & Hila, 2015) used a hybrid consist of SMA actuator (based on SME) and piezoelectric actuator (based on converse piezoelectric effect) to move a capsule endoscopy (wireless endoscopy).



**Figure 8.** The endoscopy for (a) sampling a small tissue of an organs for medical test, and (b) a sucking out obstructing material (Astudillo, Sporn, Bachman, Miedema, & Thaler, 2009; Ramos, Zundel, Neto, & Maalouf, 2008).

### 3.4. Soft Robots

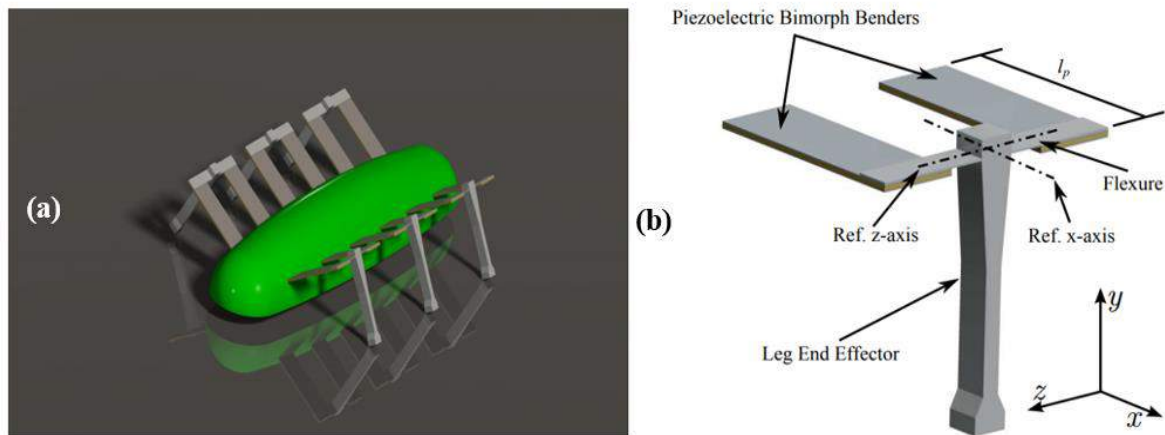
Soft robots have widely used in high-tech because they can be grabbing on soft objects. They can be used to a small extent, to have a continues motion, and they do not cause injury while they interacted with the human body (Shi et al., 2019). Similar to the other robots, these robots are also used actuators for performing their actions. Researchers are focused on SMA-based actuators in soft robots instead of DC motors because they occupy a smaller size compared to the DC motors, while their output force is the same rate (Sohn, Kim, & Choi, 2018). Mazzolai et al. designed an octopus robot, with coils made of SMAs. The coils were responsible for actuating octopus arms, and also, they could elongate as well (Mazzolai, Margheri, Cianchetti, Dario, & Laschi, 2012). Furthermore, Z. Shi et al. manufactured an inchworm crawling robot base on SMA-wires. The SMA is able to have a flexible motion in the muscles' fiber (Figure 9) (Shi et al., 2019).



**Figure 9.** (a) The connection mechanism of SMA-based actuating wires in a crawling robots' legs. (b) The motion style of the inchworm crawling robot (Shi et al., 2019).

### 3.5. Robotic Leg

The designers and researchers in the robotic area always trying to reduce the size of robots, especially in robotic legs because the movement of the robot depends on the shape and ability of its legs (Laumond, 1998). The miniaturization in robots has some advantages, because the robots can walk in some restricted locations, e.g. inside a water pipe (Gray & Zhu, 2007), in the rubble (Casper & Murphy, 2003), and even inside the human body (Dolghi et al., 2011). On the other hand, miniaturization process comes with some restrictions, because designing a power source, sensor, and actuator is a complex process.



**Figure 10.** Schematic representation of (a) a miniature robot and (b) the structure of a two-degree of freedom robotic leg (Rios, Fleming, & Yong, 2015).

To reduce some of the aforementioned complexities the robotic engineers used piezoelectric actuators in the miniaturized robotic legs because piezoelectric actuators have lightweight, high bandwidth, high force production, and low power consumption (Addington & Schodek, 2012; Dosch et al., 1992; Lee, 1990; Smith et al., 2012; Uchino, 2017). Moreover, they also tried to reduce the degree of freedom. SA Rios, et al. (Rios et al., 2015) used piezoelectric bimorph bender as actuator to design the legs of a miniature robot that possesses three pair legs and each leg has two degrees of freedom (Figure 10).

### 3.6. Flapping Micro-Air Vehicles

Micro-Air vehicle robots (MAV) is a prototype with a length less than 15 cm in all dimension, and its weight is not more than 140 g. It can fly above 10 km for about 2 h (Shyy, Berg, & Ljungqvist, 1999). MAV can move its wings like birds. This robot twisting its wings using the embedded bones and muscles. Instead of muscles, actuators were handled in MAV robots, which able to twist wings and hence the robot can fly (Figure 11). Piezoelectric materials are widely used to design such flapping micro-vehicles. They have high bandwidth, high output force, high power density, and they can be miniaturized (Niezrecki, Brei, Balakrishnan, & Moskalik, 2001). T. Ozaki, et al. designed a MAV, which the embedded actuators based on piezoelectric materials. They used the direct-driven mechanism in their prototype. Usually, for designing the MAV robots, the transmission system is used to transfer the symmetric motion to the wings of MAV (Figure 12) (Finio, Shang, & Wood, 2009). However, in the direct-driven system, the produced motion, by a piezoelectric actuator, is directly transmitted to the wings (Ozaki & Hamaguchi, 2018b).

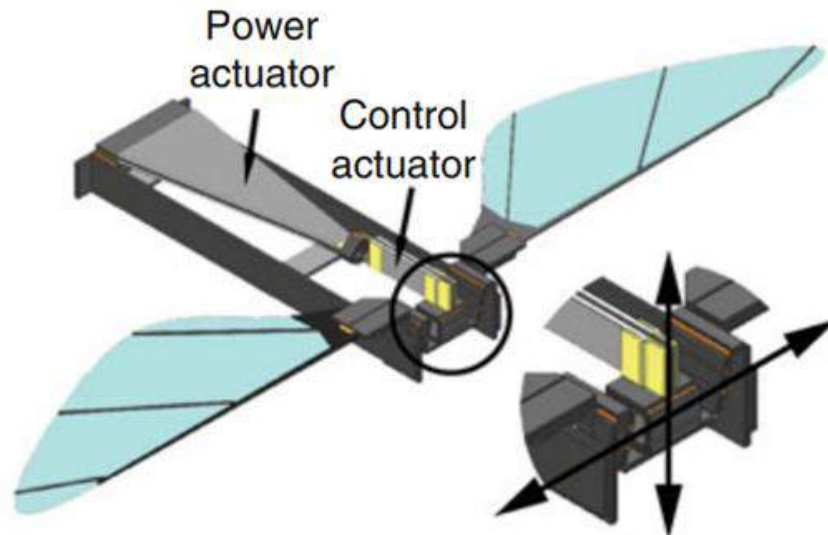


Figure 11. Schematic representation of Flapping Micro-Air Vehicles (H. Tanaka et al., 2012).

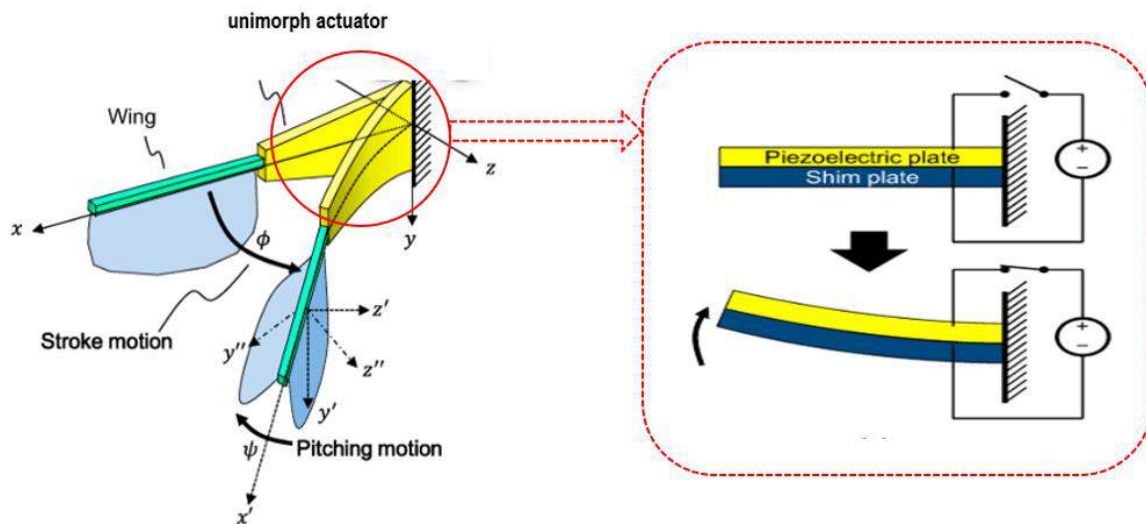


Figure 12. Design of wings in a flapping micro-air vehicle using a piezoelectric actuating system (Ozaki & Hamaguchi, 2018a).

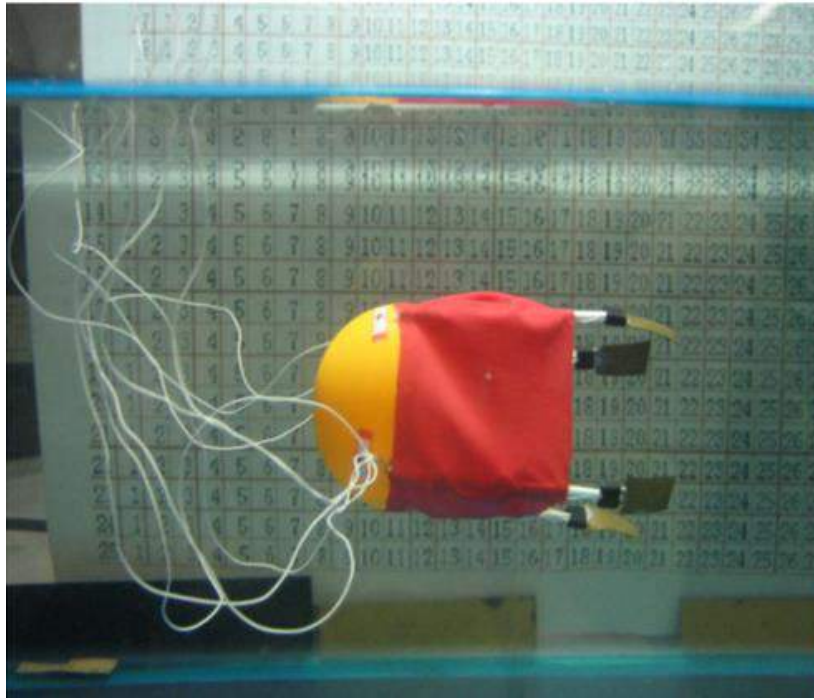
### 3.7. Robotic Fish

Robotic fish is designed for swimming in liquid (Kheirikhah et al., 2010), and can be used in some cooperative applications such as research about the underwater environment, archaeology, finding patrol in the seas, and it can be used for research in some complex environment in-depth oceans. It is difficult for an ordinary robot because the motion should be well programmed (Yu, Chen, Wu, & Wang, 2016). The robotic fish can swim underwater using its wings and propellers (J. Wang, 2014). SMA-based actuators are the best choice that can give proper motion to the robot, also they have a big actuation force, long operational life, and high recovery stress (>500Mpa, which are a hundred times as greater as a biological muscle) (Z. Wang, Wang, Li, & Hang, 2009).

There are more researches in the literature that used SMA for actuating robotic fish. Tao et al proposed a ferromagnetic shape memory alloy (FSMA) for designing a caudal peduncle actuator. This actuator was able to provide a convenient force for shaking the tail of the robotic fish (Tao, Liang, & Taya, 2006).

Likewise, Cho et al in 2008 was designed and fabricated a small (in the scope of a centimeter) propulsion system for robotic fish. They embedded SMA actuator in all flexure joints and the electrical wiring and attachment pads, for the SMA-based actuators, in a single layer of a copper laminated polymer film. Also, they put this layer between to glass-fiber layers, and instead of using actuator for each joint, only a single actuator was used to rotate all of the joints in the robotic fish (Cho, Hawkes, Quinn, & Wood, 2008).





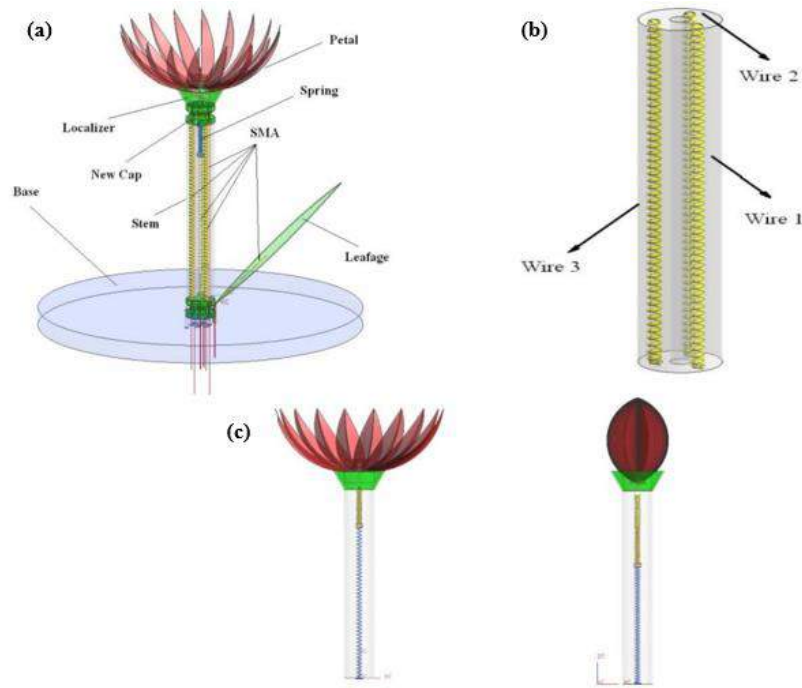
**Figure 13.** *Jellyfish-like microrobot (Yang, Ye, & Guo, 2007).*

In 2007, Y Yang and his coworkers proposed a new type of jellyfish (Figure 13). Similar to an underwater microrobot, the robot has a length of 75 mm, 55 mm in diameter and its weight was only 6.5 g. They used SMA with ionic conducting polymer film (ICPF) as an actuator to push the prototype forward during swimming. To increase ICPF movement range during swimming, it was composed of tentacles with binary mechanism, and SMA actuator to cooperate with the tentacles (which has four tentacles). Also, the frequency of input voltage in the SMA and ICPF actuators could be controlled through a frequency generator. Therefore, the input voltage the direction and speed of the microrobot jellyfish were controlled (Yang et al., 2007).

### **3.8. Flower Robots**

In a parallel development of technology, the robots have a strong role in all areas of human life, especially in the industry and other technological applications. As an example, flower robots can be used as beautification, smart home service or home gardening market. The flower robot has many numerous sensible functions, such as moving operations, environmental sensing, and domestic employment compatibility. Moving is one of the more interesting functions, which includes blooming of a flower, the sagging of the stem and the stirring of the leaves by wind (Kheirikhah et al., 2010).

Carnegi Mellon University researchers were the first how proposed the robotic flower that had seven degrees of freedom (DOF), which provided motion of the stem in two different directions, and the other DOF were used to move the flower. A DC motor was used as the source of the actuator (H. Park et al., 2007). On the other hand, Huang et al. (H. L. Huang et al., 2008) were proposed a new robotic flower, that its actuators were based on SMA materials. They were designed the robotic flower (Figure 14a) in two steps, firstly in 2007 they were fabricated the stem structure by a silica gel rod (Figure 14b), which its diameter is about 8mm and 50 mm length, and they used three coils shaped SMA wires embedded inside the rod. Thus, the motion of the stem was controlled by those actuators. In 2008, they focused on the motion functionalities of the petals and leafage of the flower robot. The motion of the petals consists of three parts (Figure 14a), including silicone rod, cap, and localizers. The actuator was connected to a spring, with one side, and the other side of SMA wire was connected with the power supply. The biased voltage could move the actuator to downward, and thus, the petals lightening and they constricted with the localizer (Figure 14c). The leafages were also having the same mechanism.



**Figure 14.** (a) The structure of a robotic flower, (b) stem structure, and (c) dynamic system of the petals in the robotic flower (H. L. Huang, Park, & Park, 2008).

#### 4. Concluding Remarks

Smart materials have a major and significant role in the development of the modern age because they have a special capability to solve some problems in modern technology. Therefore, they are more focused on researchers and designers. Also, smart materials SMAs and piezoelectric materials having comparably more used in technological applications, especially in the robotic system, which more widely handled for constructing actuators.

SMAs are easily recovered to their original shape after deformation, which is known as the shape memory effect. SMA-based actuators are used in a locomotion robot, manipulator and microrobot. Also, piezoelectric materials can change mechanical energy into voltage and vice versa. These abilities are known as the piezoelectric effect. Therefore piezoelectric materials can also be handled as an actuator in robotic systems.

There is more opportunity for researchers and robotic engineers, especially in the micro-robotic area. To improve robotic abilities, one can improve the actuation system in their innovations. Using SMA and piezoelectric materials as an actuator instead of DC motor is a key point because they have a fast response to applied signals and stress, and they have a smaller size and lower mass density compared to DC motors. Therefore they will be selected in the micro-robotic field and all other advance fields of technology as an actuator. Besides, there are other kinds of smart materials that should be investigated in this area.

#### Acknowledgments:

Thanks for University of Raparin and Firat University for financial support.

#### References

- Addington, M., & Schodek, D. (2012). *Smart Materials and Technologies in Architecture: For the Architecture and Design Professions*: Routledge.
- Advincula, A. P., & Song, A. (2007). The role of robotic surgery in gynecology. *Current Opinion in Obstetrics and Gynecology*, 19(4), 331-336.
- Ahmadi, A., Mahdavian, M., Rad, N. F., Yousefi-Koma, A., Alidoost, F., & Bazrafshani, M. A. (2015). *Design and fabrication of a Robotic Hand using shape memory alloy actuators*. Paper presented at the 2015 3rd RSI International Conference on Robotics and Mechatronics (ICROM).

- Alaneme, K. K., & Okotete, E. A. (2016). Reconciling viability and cost-effective shape memory alloy options—A review of copper and iron based shape memory metallic systems. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 19(3), 1582-1592.
- Arber, W. (2009). The impact of science and technology on the civilization. *Biotechnology advances*, 27(6), 940-944.
- Astudillo, J. A., Sporn, E., Bachman, S., Miedema, B., & Thaler, K. (2009). Transgastric cholecystectomy using a prototype endoscope with 2 deflecting working channels (with video). *Gastrointestinal endoscopy*, 69(2), 297-302.
- Aydoğdu, Y., Kök, M., Dağdelen, F., Aydoğdu, A., Turabi, A. S., & Karaca, H. E. (2016). *The effects of thermal procedure on transformation temperature, crystal structure and microstructure of Cu-Al-Co shape memory alloy*. Paper presented at the Journal of Physics: Conference Series.
- Balamurugan, V., & Narayanan, S. (2008). A piezolaminated composite degenerated shell finite element for active control of structures with distributed piezosensors and actuators. *Smart materials and Structures*, 17(3), 035031.
- Bennett, J., Mecrow, B., Atkinson, D., Maxwell, C., & Benarous, M. (2011). Fault-tolerant electric drive for an aircraft nose wheel steering actuator. *IET electrical systems in transportation*, 1(3), 117-125.
- Bogue, R. (2009). Shape-memory materials: a review of technology and applications. *Assembly Automation*, 29(3), 214-219.
- Book, W. J. (1986). Low cost automation with lighter, versatile machines. *IFAC Proceedings Volumes*, 19(13), 23-28.
- Brose, S. W., Weber, D. J., Salatin, B. A., Grindle, G. G., Wang, H., Vazquez, J. J., & Cooper, R. A. (2010). The role of assistive robotics in the lives of persons with disability. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 89(6), 509-521.
- Buytoz, S., Dağdelen, F., Qader, I., Kok, M., & Tanyildizi, B. (2019). Microstructure Analysis and Thermal Characteristics of NiTiHf Shape Memory Alloy with Different Composition. *Metals and Materials International*, 1-12.
- Carneiro, R. L. (1974). A Reappraisal of the Roles of Technology and Organization in the Origin of Civilization. *American Antiquity*, 39(2Part1), 179-186.
- Casper, J., & Murphy, R. R. (2003). Human-robot interactions during the robot-assisted urban search and rescue response at the world trade center. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 33(3), 367-385.
- Cattafesta III, L. N., & Sheplak, M. (2011). Actuators for active flow control. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 43, 247-272.
- Chance, B., Ben-Zvi, D., Garfield, J., & Medina, E. (2007). The Role of Technology in Improving Student Learning of Statistics.
- Chaudhry, Z., & Rogers, C. A. (1991). Bending and shape control of beams using SMA actuators. *Journal of intelligent material systems and structures*, 2(4), 581-602.
- Cho, K.-J., Hawkes, E., Quinn, C., & Wood, R. J. (2008). *Design, fabrication and analysis of a body-caudal fin propulsion system for a microrobotic fish*. Paper presented at the 2008 IEEE international Conference on Robotics and Automation.
- Chua, P. Y., Ilschner, T., & Caldwell, D. G. (2003). Robotic manipulation of food products—a review. *Industrial Robot: An International Journal*, 30(4), 345-354.
- Chuanzhong, Z. (1993). Development of Piezoelectric Materials and Their Applications [J]. *Piezoelectrics & Acousto-optics*, 3.
- Colorado, J., Barrientos, A., Rossi, C., & Breuer, K. S. (2012). Biomechanics of smart wings in a bat robot: morphing wings using SMA actuators. *Bioinspiration & biomimetics*, 7(3), 036006.
- Culjat, M., King, C.-H., Franco, M., Bisley, J., Grundfest, W., & Dutson, E. (2008). Pneumatic balloon actuators for tactile feedback in robotic surgery. *Industrial Robot: An International Journal*, 35(5), 449-455.
- Culp, G. W. (1992). Piezoelectric robotic articulation: Google Patents.
- Cura, V. O. D., Cunha, F. L., Aguiar, M. L., & Cliquet Jr, A. (2003). Study of the different types of actuators and mechanisms for upper limb prostheses. *Artificial organs*, 27(6), 507-516.
- Dadfarnia, M., Jalili, N., Xian, B., & Dawson, D. M. (2003). *Lyapunov-based piezoelectric control of flexible cartesian robot manipulators*. Paper presented at the Proceedings of the 2003 American Control Conference, 2003.
- Daerden, F., & Lefebvre, D. (2002). Pneumatic artificial muscles: actuators for robotics and automation. *European journal of mechanical and environmental engineering*, 47(1), 11-21.
- Daerden, F., Lefebvre, D., Verrelst, B., & Van Ham, R. (2001). *Pleated pneumatic artificial muscles: actuators for automation and robotics*. Paper presented at the 2001 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics. Proceedings (Cat. No. 01Th8556).
- Dağdelen, F., Aldalawi, M., Kok, M., & Qader, I. (2019). Influence of Ni addition and heat treatment on phase transformation temperatures and microstructures of a ternary CuAlCr alloy. *The European Physical Journal Plus*, 134(2), 66.
- Dağdelen, F., Kok, M., & Qader, I. (2019). Effects of Ta Content on Thermodynamic Properties and Transformation Temperatures of Shape Memory NiTi Alloy. *Metals and Materials International*, 1-8. doi: <https://doi.org/10.1007/s12540-019-00298-z>
- Dağdelen, F., Malkoç, T., Kök, M., & Ercan, E. (2016). Comparison of the transformation temperature, microstructure and magnetic properties of Co-Ni-Al and Co-Ni-Al-Cr shape memory alloys. *The European Physical Journal Plus*, 131(6), 196.
- De Rossi, D., Suzuki, M., Osada, Y., & Morasso, P. (1992). Pseudomuscular gel actuators for advanced robotics. *Journal of intelligent material systems and structures*, 3(1), 75-95.
- Denoyer, K., & Kwak, M. (1996). Dynamic modelling and vibration suppression of a swelling structure utilizing piezoelectric sensors and actuators. *Journal of Sound and Vibration*, 189(1), 13-31.
- Dökmeci, M. (1983). Dynamic applications of piezoelectric crystals. Part 3: Experimental studies. *Shock Vibration Digest*, 15.
- Dolghi, O., Strabala, K. W., Wortman, T. D., Goede, M. R., Farritor, S. M., & Oleynikov, D. (2011). Miniature in vivo robot for laparoendoscopic single-site surgery. *Surgical endoscopy*, 25(10), 3453-3458.
- Dosch, J. J., Inman, D. J., & Garcia, E. (1992). A self-sensing piezoelectric actuator for collocated control. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 3(1), 166-185.
- Drucker, P. (2012). *Technology, management and society*: Routledge.

- Duchaud, J. L., Hlioui, S., Louf, F., Ojeda, J., & Gabsi, M. (2014). Modeling and optimization of a linear actuator for a two-stage valve tappet in an automotive engine. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 64(10), 4441-4448.
- Ercan, E., Dagdelen, F., & Qader, I. (2019). Effect of tantalum contents on transformation temperatures, thermal behaviors and microstructure of CuAlTa HTSMAs. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 1-8. doi: <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08418-y>
- Finio, B. M., Shang, J. K., & Wood, R. J. (2009). *Body torque modulation for a microrobotic fly*. Paper presented at the 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation.
- Goldenberg, E., Shabtay, G., Mendlovic, E., & Kali, E. (2014). Electromagnetic actuators for digital cameras: Google Patents.
- Gray, J., & Zhu, C. (2007). In-pipe robot for inspection and sampling tasks. *Industrial Robot: An International Journal*.
- Hines, L., Petersen, K., Lum, G. Z., & Sitti, M. (2017). Soft actuators for small-scale robotics. *Advanced materials*, 29(13), 1603483.
- Howard, D. A., & Walker, K. C. (1993). Landing gear drag strut actuator having self-contained pressure charge for emergency use: Google Patents.
- Huang, H. L., Park, S.-H., & Park, J.-O. (2008). *Shape memory alloy based flower robot*. Paper presented at the 39th International Symposium on Robotics, Seoul, Korea (October 2008).
- Huang, W. (2002). On the selection of shape memory alloys for actuators. *Materials & design*, 23(1), 11-19.
- Huang, W., & Toh, W. (2000). Training two-way shape memory alloy by reheat treatment. *Journal of materials science letters*, 19(17), 1549-1550.
- Huber, J., Fleck, N., & Ashby, M. (1997). The selection of mechanical actuators based on performance indices. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, physical and engineering sciences*, 453(1965), 2185-2205.
- Hunter, I. W., Hollerbach, J. M., & Ballantyne, J. (1991). A comparative analysis of actuator technologies for robotics. *Robotics Review*, 2, 299-342.
- Hunter, I. W., & Lafontaine, S. (1992). *A comparison of muscle with artificial actuators*. Paper presented at the Technical Digest IEEE Solid-State Sensor and Actuator Workshop.
- Ikuta, K., Tsukamoto, M., & Hirose, S. (1988). *Shape memory alloy servo actuator system with electric resistance feedback and application for active endoscope*. Paper presented at the Proceedings. 1988 IEEE International Conference on Robotics and Automation.
- Inoue, A., & Deng, M. (2007). Piezoelectric actuator based adaptive vibration control of flexible arm. *IFAC Proceedings Volumes*, 40(13), 197-202.
- Jacobsen, G., Berger, R., & Horgan, S. (2003). The role of robotic surgery in morbid obesity. *Journal of laparoendoscopic & advanced surgical techniques*, 13(4), 279-283.
- Jaffe, B. (2012). *Piezoelectric ceramics* (Vol. 3): Elsevier.
- Jani, J. M., Leary, M., Subic, A., & Gibson, M. A. (2014). A review of shape memory alloy research, applications and opportunities. *Materials & Design (1980-2015)*, 56, 1078-1113.
- Janocha, H. (2004). *Actuators*: Springer.
- Jbaily, A., & Yeung, R. W. (2015). Piezoelectric devices for ocean energy: a brief survey. *Journal of Ocean Engineering and Marine Energy*, 1(1), 101-118.
- Karabegović, I. (2016). The role of industrial robots in the development of automotive industry in China. *International Journal of Engineering Works*, 3(12), 92-97.
- Kawamura, K., Bagchi, S., Iskarous, M., & Bishay, M. (1995). Intelligent robotic systems in service of the disabled. *IEEE Transactions on rehabilitation engineering*, 3(1), 14-21.
- Kheirikhah, M. M., Rabiee, S., & Edalat, M. E. (2010). *A review of shape memory alloy actuators in robotics*. Paper presented at the Robot Soccer World Cup.
- Kim, B., Lee, M. G., Lee, Y. P., Kim, Y., & Lee, G. (2006). An earthworm-like micro robot using shape memory alloy actuator. *Sensors and Actuators A: Physical*, 125(2), 429-437.
- Kim, S. G., Franklin, D. K., & Conner, M. P. (1995). Emergency power system for door: Google Patents.
- Kok, M., Al-Jaf, A. O. A., Çirak, Z. D., Qader, I. N., & Özen, E. (2019). Effects of heat treatment temperatures on phase transformation, thermodynamical parameters, crystal microstructure, and electrical resistivity of NiTiV shape memory alloy. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. doi: <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08788-3>
- Kök, M., & Ateş, G. (2017). The effect of addition of various elements on properties of NiTi-based shape memory alloys for biomedical application. *The European Physical Journal Plus*, 132(4), 185.
- Kök, M., Qader, I. N., Mohammed, S. S., ÖNER, E., Dağdelen, F., & Aydogdu, Y. (2020). Thermal Stability and Some Thermodynamics Analysis of Heat Treated Quaternary CuAlNiTa Shape Memory Alloy. *Materials Research Express*, 7.
- Kök, M., Zardawi, H. S. A., Qader, I. N., & Kanca, M. S. (2019). The effects of cobalt elements addition on Ti<sub>2</sub>Ni phases, thermodynamics parameters, crystal structure and transformation temperature of NiTi shape memory alloys. *The European Physical Journal Plus*, 134(5), 197. doi: <https://doi.org/10.1140/epjp/i2019-12570-9>
- Kolesar, E. S. (1998). Piezoelectric tactile sensor: Google Patents.
- Kumbhar, S., & Gawade, S. A SURVEY OF DIFFERENT ACTUATOR TECHNOLOGIES.
- Laumond, J.-P. (1998). *Robot motion planning and control* (Vol. 229): Springer.
- Lee, C. (1990). Theory of laminated piezoelectric plates for the design of distributed sensors/actuators. Part I: Governing equations and reciprocal relationships. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 87(3), 1144-1158.
- Liang, C., & Rogers, C. (1992). Design of shape memory alloy actuators. *Journal of Mechanical Design*, 114(2), 223-230.
- Liu, L., Towfighian, S., & Hila, A. (2015). A review of locomotion systems for capsule endoscopy. *IEEE reviews in biomedical engineering*, 8, 138-151.



- Ma, N., Song, G., & Lee, H. (2004). Position control of shape memory alloy actuators with internal electrical resistance feedback using neural networks. *Smart materials and Structures*, 13(4), 777.
- Maeno, T., & Hino, T. (2006). *Miniature five-fingered robot hand driven by shape memory alloy actuators*. Paper presented at the Proceedings of the 12th IASTED International Conference, Robotics and Applications.
- Mavroidis, C. (2002). Development of advanced actuators using shape memory alloys and electrorheological fluids. *Journal of Research in Nondestructive Evaluation*, 14(1), 1-32.
- Mazzolai, B., Margheri, L., Cianchetti, M., Dario, P., & Laschi, C. (2012). Soft-robotic arm inspired by the octopus: II. From artificial requirements to innovative technological solutions. *Bioinspiration & biomimetics*, 7(2), 025005.
- Mubin, O., Stevens, C. J., Shahid, S., Al Mahmud, A., & Dong, J.-J. (2013). A review of the applicability of robots in education. *Journal of Technology in Education and Learning*, 1(209-0015), 13.
- Nakao, S., Tokunaga, T., Yamane, Y., & Saka, N. (1999). Linear actuator and optical equipment using the same: Google Patents.
- Niezrecki, C., Brei, D., Balakrishnan, S., & Moskalik, A. (2001). Piezoelectric actuation: state of the art.
- Ochoński, W. (2010). Application of shape memory materials in fluid sealing technology. *Industrial Lubrication and Tribology*, 62(2), 99-110.
- Oldham, K., Rhee, C.-H., Ryou, J.-H., Polcawich, R., & Pulskamp, J. (2009). *Lateral thin-film piezoelectric actuators for bio-inspired micro-robotic locomotion*. Paper presented at the ASME 2009 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference.
- Otsuka, K., & Shimizu, K. (1986). Pseudoelasticity and shape memory effects in alloys. *International Metals Reviews*, 31(1), 93-114.
- Ozaki, T., & Hamaguchi, K. (2018a). Electro-Aero-Mechanical Model of Piezoelectric Direct-Driven Flapping-Wing Actuator. *Applied Sciences*, 8(9), 1699.
- Ozaki, T., & Hamaguchi, K. (2018b). Performance of direct-driven flapping-wing actuator with piezoelectric single-crystal PIN-PMN-PT. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 28(2), 025007.
- Park, H., Jung, S., Choi, J., Park, S., Yoon, C., & Park, J. (2007). *A study on the moving mechanism for flower robot*. Paper presented at the 2007 International Conference on Control, Automation and Systems.
- Park, J.-S., & Kim, J.-H. (2005). Analytical development of single crystal macro fiber composite actuators for active twist rotor blades. *Smart materials and Structures*, 14(4), 745.
- Park, Y. S., Kang, H., Ewing, T. F., Faulring, E. L., DeJong, B. P., Peshkin, M. A., & Colgate, J. E. (2005). *Semi-autonomous Telerobotic Manipulation: A Viable Approach for Space Structure Deployment and Maintenance*. Paper presented at the AIP Conference Proceedings.
- Pelrine, R. E., & Kornbluh, R. D. (2003). Electroactive polymer devices: Google Patents.
- Pons, J. L. (2005). *Emerging actuator technologies: a micromechatronic approach*: John Wiley & Sons.
- Poussot-Vassal, C., Sename, O., Dugard, L., Gaspar, P., Szabo, Z., & Bokor, J. (2008). A new semi-active suspension control strategy through LPV technique. *Control Engineering Practice*, 16(12), 1519-1534.
- Prensky, M. (2008). The role of technology. *Educational Technology*, 48(6).
- Price, A., Jnifene, A., & Naguib, H. (2007). Design and control of a shape memory alloy based dexterous robot hand. *Smart Materials and Structures*, 16(4), 1401.
- Qader, I. N., Kök, M., & Dağdelen, F. (2019). Effect of heat treatment on thermodynamics parameters, crystal and microstructure of (Cu-Al-Ni-Hf) shape memory alloy. *Physica B: Condensed Matter*, 553, 1-5. doi: <https://doi.org/10.1016/j.physb.2018.10.021>
- Qader, I. N., Kök, M., Dağdelen, F., & Aydogdu, Y. (2019). A Review of Smart Materials: Researches and Applications. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 6(3), 755-788. doi: <https://doi.org/10.31202/ecjse.562177>
- Quinones-Hinojosa, A. (2012). *Schmiddek and Sweet: Operative Neurosurgical Techniques 2-Volume Set: Indications, Methods and Results (Expert Consult-Online and Print)* (Vol. 2): Elsevier Health Sciences.
- Ramos, A. C., Zundel, N., Neto, M. G., & Maalouf, M. (2008). Human hybrid NOTES transvaginal sleeve gastrectomy: initial experience. *Surgery for Obesity and Related Diseases*, 4(5), 660-663.
- Rao, A., Srinivasa, A. R., & Reddy, J. N. (2015). *Design of shape memory alloy (SMA) actuators* (Vol. 3): Springer.
- Rios, S. A., Fleming, A. J., & Yong, Y. K. (2015). *Design of a two degree of freedom resonant miniature robotic leg*. Paper presented at the 2015 IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM).
- Robins, B., Dautenhahn, K., Te Boekhorst, R., & Billard, A. (2005). Robotic assistants in therapy and education of children with autism: can a small humanoid robot help encourage social interaction skills? *Universal Access in the Information Society*, 4(2), 105-120.
- Roth, Z. S. (2002). *The role of robotics in freshmen engineering curricula*. Paper presented at the Proceedings of the 5th Biannual World Automation Congress.
- Schoeny, S., & Nelson, G. (2007). Modular industrial equipment facility: Google Patents.
- Seelecke, S., & Muller, I. (2004). Shape memory alloy actuators in smart structures: Modeling and simulation. *Applied Mechanics Reviews*, 57(1), 23-46.
- Shi, Z., Pan, J., Tian, J., Huang, H., Jiang, Y., & Zeng, S. (2019). An Inchworm-inspired Crawling Robot. *Journal of Bionic Engineering*, 16(4), 582-592.
- Shimao, D., Inoue, K., & Kurata, T. (2013). Precision press device and press load control method thereof: Google Patents.
- Shyy, W., Berg, M., & Ljungqvist, D. (1999). Flapping and flexible wings for biological and micro air vehicles. *Progress in aerospace sciences*, 35(5), 455-505.
- Smith, G. L., Pulskamp, J. S., Sanchez, L. M., Potrepka, D. M., Proie, R. M., Ivanov, T. G., . . . Meyer, C. D. (2012). PZT-based piezoelectric MEMS technology. *Journal of the American Ceramic Society*, 95(6), 1777-1792.



- Sofla, A., Elzey, D., & Wadley, H. (2008). Two-way antagonistic shape actuation based on the one-way shape memory effect. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 19(9), 1017-1027.
- Sohn, J., Kim, G.-W., & Choi, S.-B. (2018). A state-of-the-art review on robots and medical devices using smart fluids and shape memory alloys. *Applied Sciences*, 8(10), 1928.
- Solmaz, S., Akar, M., & Shorten, R. (2008). Adaptive rollover prevention for automotive vehicles with differential braking. *IFAC Proceedings Volumes*, 41(2), 4695-4700.
- Starr, M. B., & Wang, X. (2015). Coupling of piezoelectric effect with electrochemical processes. *Nano Energy*, 14, 296-311.
- Sulchek, T., Minne, S., Adams, J., Fletcher, D., Atalar, A., Quate, C., & Adderton, D. (1999). Dual integrated actuators for extended range high speed atomic force microscopy. *Applied Physics Letters*, 75(11), 1637-1639.
- Swanson, D. A. (1993). Active engine mounts for vehicles: SAE Technical Paper.
- Tan, X. (2002). *Control of smart actuators*.
- Tanaka, H., Finio, B. M., Karpelson, M., Pérez-Arancibia, N. O., Sreetharan, P. S., Whitney, J. P., & Wood, R. J. (2012). Insect Flight and Micro Air Vehicles (MAVs). *Encyclopedia of Nanotechnology*, 1096-1109.
- Tanaka, Y., & Yamada, A. (1991). *A rotary actuator using shape memory alloy for a robot-analysis of the response with load*. Paper presented at the Proceedings IROS'91: IEEE/RSJ International Workshop on Intelligent Robots and Systems' 91.
- Tao, T., Liang, Y.-C., & Taya, M. (2006). Bio-inspired actuating system for swimming using shape memory alloy composites. *International Journal of Automation and Computing*, 3(4), 366-373.
- Tichý, J., Erhart, J., Kittinger, E., & Privratska, J. (2010). *Fundamentals of piezoelectric sensorics: mechanical, dielectric, and thermodynamical properties of piezoelectric materials*: Springer Science & Business Media.
- Toru, S. (2008). Fast and accurate position control of shape memory alloy actuators. *Master Degree Internship Report, University of Paris-Sud*.
- Tzou, H., Lee, H.-J., & Arnold, S. (2004). Smart materials, precision sensors/actuators, smart structures, and structronic systems. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 11(4-5), 367-393.
- Tzou, H., & Natori, M. (2001). Piezoelectric Materials and Continua, *Encyclopedia of Vibration*: Academic Press, London, UK.
- Uchino, K. (2017). *Advanced piezoelectric materials: Science and technology*: Woodhead Publishing.
- Uttley, A. E., Chambers, P. W., Blackwell, N., & Weller, B. (2002). Actuator system for aerospace controls and functions: Google Patents.
- Villoslada, A., Flores-Caballero, A., Copaci, D., Blanco, D., & Moreno, L. (2014). *High-displacement fast-cooling flexible Shape Memory Alloy actuator: Application to an anthropomorphic robotic hand*. Paper presented at the 2014 IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots.
- Wang, B., & Zhu, S. (2018). Seismic behavior of self-centering reinforced concrete wall enabled by superelastic shape memory alloy bars. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(1), 479-502.
- Wang, J. (2014). *Robotic fish: Development, modeling, and application to mobile sensing*: Michigan State University. Electrical Engineering.
- Wang, Z., Wang, Y., Li, J., & Hang, G. (2009). *A micro biomimetic manta ray robot fish actuated by SMA*. Paper presented at the 2009 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO).
- Webb, G. V., Lagoudas, D. C., & Kurdila, A. J. (1998). Hysteresis modeling of SMA actuators for control applications. *Journal of intelligent material systems and structures*, 9(6), 432-448.
- Wood, R., Steltz, E., & Fearing, R. (2005). Optimal energy density piezoelectric bending actuators. *Sensors and Actuators A: Physical*, 119(2), 476-488.
- Yang, Y., Ye, X., & Guo, S. (2007). *A new type of jellyfish-like microrobot*. Paper presented at the 2007 IEEE International Conference on Integration Technology.
- Yasui, T., & Naito, M. (1981). Electric control circuit for safety apparatus in automotive vehicles: Google Patents.
- Yoichi, M. (2006). Applications of piezoelectric actuator. *NEC Technical Journal*, 1(5), 82-86.
- Yongning, T., & Fengbai, T. (1988). Variable speed AC motor: Google Patents.
- Yu, J., Chen, S., Wu, Z., & Wang, W. (2016). On a miniature free-swimming robotic fish with multiple sensors. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 13(2), 62.



# Koca Fiğ (*Vicia narbonensis* L.) Bitkisinde Fosforlu Gübre Dozlarının Ot ve Tohum Verimine Etkisi

Mehmet Arif Özyazıcı<sup>1\*</sup>, Semih Açıkbaz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8709-4633)

<sup>2</sup> Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4384-3908)

(İlk Geliş Tarihi 14 Kasım 2019 ve Kabul Tarihi 22 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.655253)

**ATIF/REFERENCE:** Özyazıcı, M.A., & Açıkbaz, S. (2019). Koca Fiğ (*Vicia narbonensis* L.) Bitkisinde Fosforlu Gübre Dozlarının Ot ve Tohum Verimine Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1031-1036.

## Öz

Bu araştırmada, koca fiğ (*Vicia narbonensis* L.) bitkisinde farklı düzeydeki fosfor (P) dozlarının ot ve tohum verimi üzerine etkisinin belirlenmesi ve koca fiğ bitkisi için optimum P miktarının saptanması amaçlanmıştır. Araştırma, Türkiye'nin yarı-kurak iklimine sahip Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Siirt ili koşullarında 2016-2017 yıllarında yürütülmüştür. Araştırmada bitkisel materyal olarak "Tarman" koca fiğ çeşidi kullanılmıştır. Çalışmada tarla denemeleri tesadüf blokları deneme desenine göre üç tekrarlamalı olarak kurulmuş olup; fosforun 5 farklı dozu ( $P_0=0$  kg  $P_2O_5$ /da,  $P_3=3$  kg  $P_2O_5$ /da,  $P_6=6$  kg  $P_2O_5$ /da,  $P_9=9$  kg  $P_2O_5$ /da ve  $P_{12}=12$  kg  $P_2O_5$ /da) araştırmanın konusunu teşkil etmiştir. Araştırmada; yeşil ve kuru ot verimi, bitkide bakla sayısı (BBS), baklada tane sayısı (BTS), tohum verimi ve biyolojik verim parametreleri incelenmiştir. Araştırma sonucuna göre, fosforlu gübre dozu uygulamalarının yeşil ve kuru ot verimi ile tohum verimine istatistiki açıdan çok önemli ( $p<0.01$ ), BBS değerlerine ise önemli ( $p<0.05$ ) etkileri olmuştur. En yüksek yeşil ot verimi (2765.3 kg/da), kuru ot verimi (488.9 kg/da) ve tohum verimi (237.6 kg/da)  $P_9$  gübre dozunda belirlenmiştir. Tüm parametrelerde en düşük değerler fosforlu gübre uygulamasının yapılmadığı kontrol ( $P_0$ ) konusunda saptanmıştır. Baklada tane sayısı ve biyolojik verim yönünden fosforlu gübre dozları arasında istatistiki açıdan farklılık görülmemiştir. Koca fiğ bitkisinde BTS değeri 2.8-3.1 adet, biyolojik verim değerleri ise 494.4-675.9 kg/da arasında değişim göstermiştir. Araştırma sonucuna göre; Siirt ili yarı kurak iklim koşullarında, fosforun çok az ve/veya az düzeyde bulunduğu toprak şartlarında, koca fiğin yazlık olarak yetiştiriciliğinde, ot üretimi amacıyla dekara saf 8-8.5 kg  $P_2O_5$ , tohum verimi amacıyla ise dekara saf 9.7 kg  $P_2O_5$  hesabıyla fosforlu gübreleme yapılması önerilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Kuru ot verimi, Tohum verimi, Fosfor dozu, Regresyon analizi.

## Effect of Phosphorus Fertilizer Doses on Herbage and Seed Yield in Narbon Vetch (*Vicia narbonensis* L.)

### Abstract

In this study, it was aimed to determine the effect of different levels of phosphorus (P) doses on herbage and seed yield, and to determine the optimum P ratio for narbon vetch (*Vicia narbonensis* L.). The study was conducted under semi-arid climate conditions of Siirt province in Southeastern Anatolia Region of Turkey between 2016-2017. Tarman variety was used as plant material in the study. The field experiments were established as randomized complete blocks design with three replications, and 5 different doses of phosphorus ( $P_0=0$  kg  $P_2O_5$ /da,  $P_3=3$  kg  $P_2O_5$ /da,  $P_6=6$  kg  $P_2O_5$ /da,  $P_9=9$  kg  $P_2O_5$ /da, and  $P_{12}=12$  kg  $P_2O_5$ /da) were the subject of the study. In the study; green forage and hay yield, number of pods per plant (NPP), number of seeds per pods (NSP), seed yield and biological yield parameters were examined. According to the results of the study, phosphorus fertilizer dose had very significant ( $p<0.01$ ) effects on

\* Sorumlu Yazar: Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt, Türkiye, ORCID: 0000-0001-8709-4633, arifozyazici@siirt.edu.tr

green forage, hay yield, and seed yield while the effect on NPP was at  $p < 0.05$  level. The highest green forage yield (2765.3 kg/da), hay yield (488.9 kg/da) and seed yield (237.6 kg/da) were determined at  $P_9$  fertilizer dose. The lowest values in all parameters were observed in control ( $P_0$ ) which did not have any P applied. There was no statistically significant difference for NSP and biological yield between fertilizer doses. In the vetch plants, NSP values were between 2.8-3.1 and biological yield values were between 494.4-675.9 kg/da. According to the results of the research; under semi-arid climatic conditions of Siirt province, soil conditions where phosphorus is limited and/or low, phosphorous fertilization is recommended, with pure 8-8.5 kg  $P_2O_5$  per hectare for herbage production and 9.7 kg  $P_2O_5$  per hectare for grain production on spring/summer planting.

**Keywords:** Hay yield, Seed yield, Phosphorus dose, Regression analysis.

## 1. Giriş

Hayvancılık işletmelerinin kaba yem ihtiyaçlarının karşılandığı kaynakların başında yem bitkileri tarımı gelmektedir. Türkiye’de, tarla tarımı içerisinde yem bitkilerinin oranı henüz istenilen düzeyde bulunmamaktadır. Kısa vadede yem bitkileri ekiliş miktarında gözle görülür artışlar sağlanamayacağı düşünüldüğünde, birim alandan elde edilen otun verim ve kalitesinin artırılması kaliteli kaba yem açığının kapatılmasında önemli rol oynayacaktır. Türkiye’de tarla tarımı içerisinde yetiştirilen yem bitkilerinin büyük bir çoğunluğunu yonca, korunga ve fiğ türleri oluşturmaktadır. Fiğler; ekim nöbeti içerisinde gerek kışlık gerekse yazlık ara ürün olarak, hem ot üretimi hem de yeşil gübreleme amacıyla kullanılabilen, Türkiye’nin değişik ekolojik koşullarına adaptasyonu yüksek türleri içeren geniş bir cinstir. Bu cins içerisinde yer alan koca fiğ (*Vicia narbonensis* L.); hem otundan hem de tohumundan istifade edilen (Manga ve ark., 2003), besleme değeri yüksek ve lezzetli, tohumlarındaki ham protein oranı bakımından yüksek (Hadjipanayiotou, 2000) olan önemli bir baklagil yem bitkisidir.

Birim alandan elde edilen ürünün verim ve kalitesini etkileyen en önemli kültürel uygulamaların başında gübreleme gelmektedir. Kullanılan gübreden istenilen faydanın sağlanması ise bilinçli ve tekniğine uygun bir gübrelemenin yapılması ile mümkün olmaktadır. Bu anlamda bitkiler için optimum gübre dozu miktarlarının belirlenmesi ve belirlenen bu miktarlar üzerindeki gübreleme programlarının uygulanması büyük önem taşımaktadır. Optimum gübre dozu ise; bitki cins-tür ve çeşitlerine, iklim ve toprak özellikleri gibi bir takım faktörlere göre değişiklik göstermektedir. Uygun gübre miktarlarının belirlenmesinde, toprak analizleri ile birlikte toprak-bitki besleme ilişkisi ön plana çıkmaktadır.

Bitkilerin dengeli bir şekilde fizyolojik fonksiyonlarını sürdürebilmeleri için ihtiyaç duyduğu minerallerin başında makro elementler gelmektedir. Türkiye topraklarında eksikliği görülen makro elementlerin başında fosfor (P) gelmekte; orta düzeydeki P miktarı da dâhil edildiğinde Türkiye topraklarının yaklaşık % 72’sinde alınabilir P yetersiz (Eyüpoğlu, 1999) düzeyde bulunmaktadır. Fosfor, azot (N) ve potasyum (K) ile birlikte bitkilerin en fazla gereksinim duyduğu bitki besin maddelerinden olup (Eyüpoğlu, 1999); bitkilerde genlerin ve kromozomların oluşmasında, bitki köklerinin gelişmesinde, kış soğuklarına, kuraklığa, hastalık ve zararlılara karşı dayanıklılığın artmasında, N fiksasyonunda, kaliteli ve verimli ürünlerin elde edilmesinde önemli işlevleri bulunmaktadır (Kacar, 2012). Bu anlamda, P yönünden baklagillerin gereksiniminin yüksek olduğu ve yeterli biyokütle üretimi için eksikliği görüldüğünde fosforun mutlaka bitkilere verilmesi gerektiği bildirilmiştir (Turk ve Tawaha, 2002; Turk ve ark., 2003; Yılmaz, 2008). Baklagil yem bitkileri ile yapılan araştırmalarda, fosforlu gübre uygulamalarının ot ve tohum verimi üzerine olumlu etkide bulunduğu birçok araştırmalar sonucunda (Al-Musri, 1989; Orak ve ark., 1997; Çimrin ve ark., 2001; Karaca ve Çimrin, 2002; Turk ve ark., 2003; Yılmaz, 2008; Cömert, 2014) rapor edilmiştir.

Türkiye topraklarında alansal ve oransal olarak en fazla eksikliği görülen bitki besin maddesi konumundaki fosforun, aynı zamanda aşırı ve bilinçsiz gübrelemesi de tarım topraklarının en önemli sorunlarından birisidir. Toprak analiz sonuçlarına göre uygun miktar ve/veya dozda verilmeyen fosforun ekonomik kayıplara yol açtığı gibi, toprakta kirlilik boyutlarında birikmelere de neden olduğu bilinmektedir. Bu nedenle yapılan gübreleme çalışmalarında önemli olan ekonomik seviyedeki gübre dozlarının ortaya konulmasıdır. Bu araştırmada, koca fiğ (*V. narbonensis* L.) bitkisinde farklı düzeydeki fosfor dozlarının ot ve tohum verimi üzerine etkisinin belirlenmesi ve koca fiğ bitkisi için optimum P miktarının saptanması amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Araştırma, Türkiye’nin yarı-kurak iklimine sahip Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde yer alan Siirt ili (Şekil 1) koşullarında 2016-2017 yıllarında yürütülmüştür. Siirt ilinin uzun yıllar (1970-2017) meteorolojik verilerine göre (Anonim, 2017) yöredeki mevcut iklimin yarı kurak olduğu anlaşılmaktadır. Yörede uzun yıllar sıcaklık ortalaması 16.2 °C, toplam yağış ortalaması ise 647.0 mm olarak ölçülmüştür. Koca fiğ bitkisinin vejetasyon döneminde (Mart-Haziran); her iki yılın ortalama sıcaklık ve toplam yağış değerlerinin, aynı dönemin uzun yıllar verilerinden bir miktar daha yüksek olduğu görülmüştür (Tablo 1).

Araştırmada, tarla denemeleri kurulmadan önce 0-20 cm derinlikten alınan toprak örneklerinin analiz sonuçları Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 2 incelendiğinde; her iki yıla ait araştırma topraklarının killi tekstürlü, tuzsuz, hafif alkali karakterde, orta kireçli düzeyde ve alınabilir K içeriklerinin yeterli düzeyde olduğu saptanmıştır. Organik madde kapsamının az düzeyde olduğu araştırma topraklarının, alınabilir P kapsamı 2016 yılı deneme alanında çok az, ikinci yıl topraklarında ise az düzeyde olduğu belirlenmiştir (Tablo 2).

Araştırmada bitkisel materyal olarak “Tarman” koca fiğ çeşidi kullanılmıştır. Çalışmada tarla denemeleri tesadüf blokları deneme desenine göre üç tekrarlamalı olarak kurulmuş olup; fosforun 5 farklı dozu ( $P_0 = 0$  kg  $P_2O_5$ /da,  $P_3 = 3$  kg  $P_2O_5$ /da,  $P_6 = 6$  kg  $P_2O_5$ /da,  $P_9 = 9$  kg  $P_2O_5$ /da ve  $P_{12} = 12$  kg  $P_2O_5$ /da) araştırmanın konusunu teşkil etmiştir. Bitkiler 30 cm sıra arası mesafede ve 6 sıra olacak



şekilde, 18 kg/da ekim normu ile ekilmiştir. Buna göre parsel büyüklüğü 1.8 x 5= 9.0 m<sup>2</sup> olup; parselin yarısı ot, diğer yarısı ise tohum verimi ile ilgili parametrelerin ölçümüne ayrılmıştır.



Şekil 1. Araştırma Alanı Lokasyon Haritası

Tablo 1. Araştırma Yerine Ait Uzun Yıllar (1970-2017) ve Araştırma Yılları Bazı İklim Verileri

Rasat Yılları	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ortalama/Toplam
<b>Ortalama Sıcaklık (°C)</b>													
2016	1.7	8.1	10.1	16.6	19.9	26.5	31.4	32.3	25.0	19.5	10.4	3.3	17.1
2017	3.0	2.7	9.6	14.0	19.5	26.9	32.3	32.0	28.4	18.4	11.2	8.0	17.2
1970-2017	2.8	4.4	8.7	14.1	19.5	26.2	30.6	30.1	25.2	18.1	10.3	4.7	16.2
<b>Nispi Nem (%)</b>													
2016	76.2	68.3	62.3	47.5	48.9	32.7	24.5	20.5	29.8	36.8	49.7	73.1	47.5
2017	65.9	64.9	63.9	59.5	51.7	29.5	19.0	19.0	19.1	34.6	64.4	65.2	46.4
1970-2017	70.5	65.6	60.3	57.3	49.2	34.0	26.8	26.1	31.0	47.2	62.2	70.1	50.0
<b>Toplam Yağış Miktarı (mm)</b>													
2016	196.8	63.8	136.6	66.8	64.7	20.6	2.4	0.2	19.0	27.1	55.6	121.4	775.0
2017	46.4	29.2	119.2	132.8	74.6	0.0	0.0	0.4	0.0	5.2	97.0	48.2	552.0
1970-2017	72.9	89.9	98.9	96.7	59.5	9.7	3.1	2.3	4.7	47.9	77.8	83.6	647.0

Tablo 2. Araştırma Yeri Topraklarının Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri\*

Toprak Özelliği	Değeri	
	2016 yılı deneme yeri	2017 yılı deneme yeri
Kum, %	14.00	36.26
Kil, %	58.00	55.84
Silt, %	28.00	7.90
pH	7.95	7.98
Elektriksel İletkenlik, dS/m	0.107	0.036
Kireç (CaCO <sub>3</sub> ), %	10.5	13.0
Organik madde, %	1.35	1.31
Alınabilir P, kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /da	2.3	4.3
Alınabilir K, kg K <sub>2</sub> O/da	163	115

\*: Analizler, Siirt Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi Laboratuvarı'nda yapılmıştır.



Toprak analiz sonuçlarına göre ekimle birlikte, her iki yılda da 4 kg/da saf N olacak şekilde üre (% 46 N) formunda azotlu gübre, her parselde homojen şekilde uygulanmıştır. Araştırmanın konusunu teşkil eden fosforlu gübreler ise belirlenen dozlara göre triple süper fosfat (% 43-44 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) formunda ekimle birlikte banda verilmiştir.

Koca fiğ ekimleri yazlık olarak yapılmış olup; bitkiler her iki yılda da Mart ayının ilk yarısında (10.03.2016 ve 08.03.2017) ekilmiştir. Ot için hasatlar; ilk yıl 03.06.2016, ikinci yıl ise 25.05.2017 tarihinde, tam çiçeklenme devresinde (Anonim, 2019) yapılmıştır. Çalışmada ikinci yıl (2017), aşırı rüzgârların etkisiyle tohumlar dökülmüş ve tohum hasatları gerçekleştirilememiştir. Bu nedenle tohum ile ilgili parametreler sadece ilk yıl verilerinden oluşmaktadır. İlk yıl tohum hasadı 24.06.2016 tarihinde, bitkinin alt tarafındaki 3-4 baklanın tamamıyla sarardığı dönemde (Anonim, 2019) yapılmıştır.

Araştırmada, Anonim (2019) tarafından bildirilen esaslara göre; yeşil ve kuru ot verimi, bitkide bakla sayısı, baklada tane sayısı, tohum verimi ve biyolojik verim parametreleri tespit edilmiştir.

Araştırma sonucunda elde edilen veriler, tesadüf blokları deneme desenine göre varyans analizine tabi tutulmuş ve ortalamalar arasındaki farklılıklar LSD testine göre değerlendirilmiştir. Yeşil ot, kuru ot ve tane verimi ile fosforlu gübre dozları arasındaki ilişki regresyon analizi ile belirlenmiştir (Yurtsever, 1984).

### 3. Araştırma Sonuçları

Fosforlu gübrelemenin koca fiğ bitkisinde; yeşil ve kuru ot verimleri ile bitkide bakla sayısı (BBS), baklada tane sayısı (BTS), tohum verimi ve biyolojik verime etkisine ilişkin ortalama değerler Tablo 3'te verilmiştir.

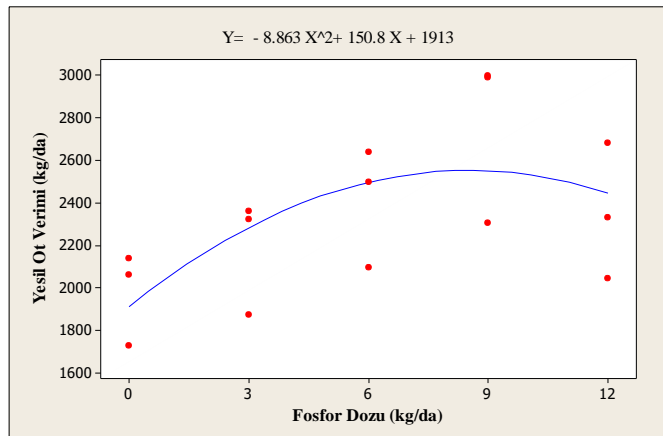
İki yıllık ortalama verilere göre hem yeşil ot hem de kuru ot veriminde, fosforlu gübre dozunun artışına paralel olarak P<sub>9</sub> gübre dozuna kadar verimlerin arttığı, bu dozdan sonra verimlerde önemli ölçüde düşüşler meydana geldiği belirlenmiştir. Buna göre en yüksek yeşil ve kuru ot verimleri iki yılın ortalaması olarak, sırasıyla 2765.3 kg/da ve 488.9 kg/da ile P<sub>9</sub> gübre dozunda belirlenmiştir. En düşük yeşil ve kuru ot verimleri ise fosforlu gübrenin uygulanmadığı kontrol (P<sub>0</sub>) konusundan (sırasıyla, 1976.4 kg/da ve 323.7 kg/da) elde edilmiştir. Dozlar arasındaki bu farklılık istatistiki açıdan p<0.01 düzeyinde önemli bulunmuştur (Tablo 3).

Tablo 3. Koca Fiğ Bitkisinde Fosfor Dozu Uygulamalarının Bazı Tarımsal Özelliklere Etkisi<sup>1</sup>

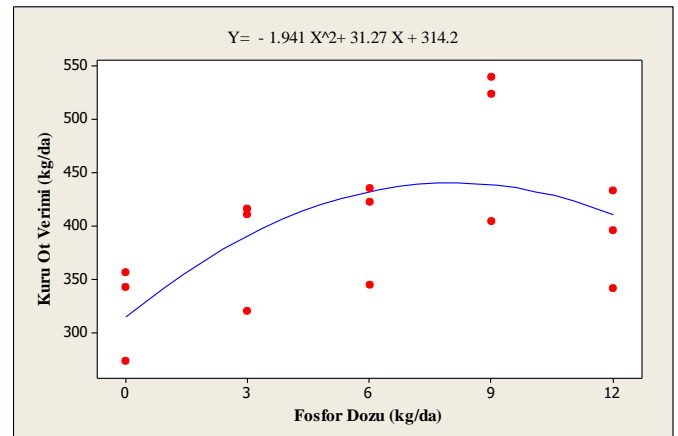
P Dozları (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /da)	Yeşil Ot Verimi (kg/da)			Kuru Ot Verimi (kg/da)			BBS (adet)	BTS (adet)	Tohum Verimi (kg/da)	Biyolojik Verim (kg/da)
	2016	2017	Ortalama	2016	2017	Ortalama				
P <sub>0</sub>	2127.8	1825.0	1976.4 d	331.1	316.3	323.7 c	15.2 c	3.0	161.8 c	494.4
P <sub>3</sub>	2350.0	2025.0	2187.5 c	385.2	379.0	382.1 b	17.8 bc	3.1	197.5 b	587.0
P <sub>6</sub>	2602.8	2222.2	2412.5 b	410.5	390.4	400.4 b	20.5 ab	2.9	209.7 b	646.3
P <sub>9</sub>	2872.2	2658.3	2765.3 a	481.8	496.0	488.9 a	21.7 ab	3.1	237.6 a	675.9
P <sub>12</sub>	2527.8	2180.6	2354.2 bc	398.3	381.7	390.0 b	22.3 a	2.8	221.0 ab	590.7
F testi			**			**	*		**	
DK (%)			6.31			6.21	12.27	10.85	6.13	14.43

<sup>1</sup>: Aynı sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık istatistiki açıdan önemli değildir, \*: p<0.05, \*\*: p<0.01 düzeyinde önemli farklılık, DK: Değişim katsayısı

Yeşil ve kuru ot verimi ile fosfor dozları arasındaki ilişki regresyon analiziyle incelenmiştir. Uygulanan regresyon analizi sonucu, P dozları ile hem yeşil ve hem de kuru ot verimi arasında kuadratik ilişki önemli (p<0.05) bulunmuştur. Yeşil ot verimi,  $Y = -8.863X^2 + 150.8X + 1913$  ( $R^2 = 0.41$ ) denklemi ile ifade edilmiştir. Buna göre yeşil ot verimi için optimum fosfor dozu 8.50 kg/da olarak bulunmuştur (Şekil 2). Kuru ot verimi için ise,  $Y = -1.941X^2 + 31.27X + 314.2$  ( $R^2 = 0.42$ ) regresyon denklemi elde edilmiş, kuru ot verimi için optimum fosfor dozu 8.05 kg/da olarak saptanmıştır (Şekil 3).



Şekil 2. Yeşil Ot Verimi ile P Dozları Arasındaki İlişki



Şekil 3. Kuru Ot Verimi ile P Dozları Arasındaki İlişki



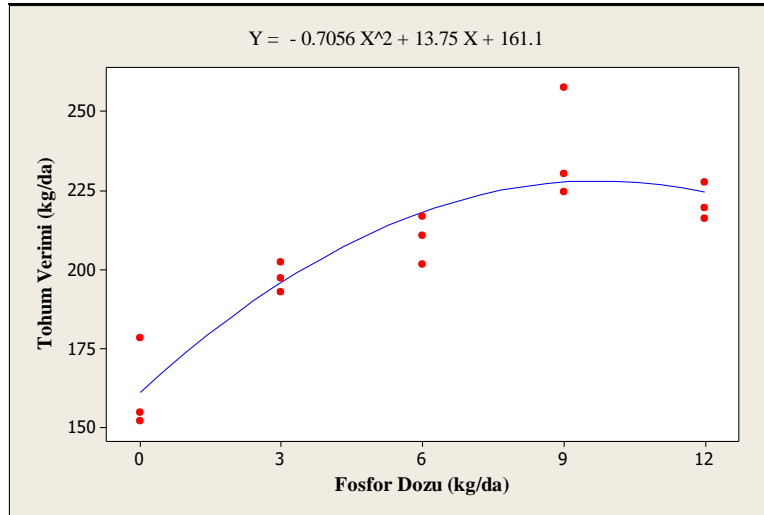


Bitkide bakla sayısı değerleri incelendiğinde, BBS yönünden P dozları arasında istatistiki açıdan  $p < 0.05$  düzeyinde önemli farklılıklar ortaya çıkmıştır. En yüksek BBS değeri 22.3 adet ile  $P_{12}$  fosfor dozunda elde edilmiş,  $P_{12}$  dozu ile  $P_9$  ve  $P_6$  dozları arasındaki farklılık istatistiki açıdan önemsiz bulunmuştur. Çalışmada, en düşük BBS değeri 15.2 adet ile kontrol parselinde belirlenmiştir (Tablo 3).

Baklada tane sayısı ve biyolojik verim yönünden fosforlu gübre dozları arasında istatistiki açıdan farklılık görülmemiştir. Koca fiğ bitkisinde BTS gübre dozlarına göre 2.8-3.1 adet, biyolojik verim değerleri ise 494.4-675.9 kg/da arasında değişim göstermiştir (Tablo 3).

Uygulanan fosforlu gübre dozlarının artışına bağlı olarak  $P_9$  (237.6 kg/da) gübre seviyesine kadar tohum veriminin arttığı,  $P_{12}$  (221.0 kg/da) dozunda ise istatistiki açıdan önemsiz sayılan bir azalmanın olduğu görülmüştür. En düşük tohum verimi ise 161.8 kg/da ile  $P_0$  dozunda saptanmıştır. Tohum verimi yönünden dozlar arasındaki bu farklılık istatistiki açıdan  $p < 0.01$  düzeyinde önemli bulunmuştur (Tablo 3).

Tohum verimi ile P dozları arasındaki ilişki regresyon analiziyle incelenmiştir. Uygulanan regresyon analizi sonucu, P dozları ile tohum verimi arasında kuadratik ilişki çok önemli ( $p < 0.01$ ) bulunmuştur. Tohum verimi,  $Y = -0.7056X^2 + 13.75X + 161.1$  ( $R^2 = 0.83$ ) denklemi ile ifade edilmiştir. Buna göre tohum verimi için optimum fosfor dozu 9.74 kg/da olarak bulunmuştur (Şekil 4).



Şekil 4. Tohum Verimi ile P Dozları Arasındaki İlişki

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Araştırma sonuçlarına göre, artan P dozlarına bağlı olarak koca fiğ'in ot ve tane veriminin 9 kg  $P_2O_5$ /da gübre dozuna kadar arttığı, bu dozdan sonra anlamlı düşüşlerin meydana geldiği görülmüştür. Artan P dozlarına paralel olarak verimlerin artış göstermesi; fosforun bitkide fotosentezi teşvik etmesi ve bunun sonucunda bitkide kuru ağırlık artışı (Colomb ve ark., 2000; Kacar ve Katkat, 2009) nedeniyle, bitki bünyesinde yapısal bir mineral element olarak büyüme ve gelişmeyi sağlaması (Khasawneh ve ark., 1980) ile açıklanabilir. Buna ek olarak, fosforun ot ve tohum verimi üzerine olumlu etkisi; topraktaki organik madde miktarının az düzeyde olması (Tablo 2) nedeniyle, N ve P arasındaki ilişkiye bağlı olarak, azotun yetersiz olduğu topraklarda daha düşük P düzeylerinde maksimum ürünün alınması ile ifade edilebilir.

Büyükburç ve Karadağ (1999), topraküstü aksamı kuru ağırlık, kök kuru ağırlığı, toplam nodül sayısı, nodül kuru ağırlığı gibi karakterler üzerinde fosforlu gübre dozlarının (0, 4, 8 ve 12 kg  $P_2O_5$ /da) olumlu etki yaptığını ve kök, gövde ve nodül gelişimini arttırmak için dekara 12 kg P uygulanması gerektiğini rapor etmişlerdir. Çimrin ve ark. (2001), fosforlu gübrelemenin karışımın yaş ve kuru ot verimlerini önemli ölçüde arttırdığını, kaliteli ve yüksek ot verimi için fiğ+arpa karışımına, tesis gübrelemesi olarak 8-12 kg fosforlu gübre verilmesi gerektiğini önermişlerdir. Karaca ve Çimrin (2002) tarafından Van ekolojik koşullarında yürütülen bir başka çalışmada ise; adi fiğ + arpa (*Vicia sativa* L. + *Hordeum vulgare* L.) karışımında, istatistikselsel olarak önemsiz de olsa, fosforlu gübre dozlarının (0, 4, 8 ve 12 kg  $P_2O_5$ /da) artışına paralel olarak yeşil ve kuru ot veriminin artış gösterdiğini bildirmişlerdir.

Koca fiğ ve yaygın fiğ bitkileri ile yapılan çalışmalarda (Turk, 1997; Turk ve Tawaha, 2001; Turk ve ark., 2003) fosforlu gübre dozlarının artışına bağlı olarak tohum verimi ve verime etkili özelliklerde artışların olduğu rapor edilmiştir. Koca fiğ ile yapılan bir diğer çalışma sonucunda ise (Yılmaz, 2008), fosfor dozlarına (2.5, 5 ve 7.5 kg/da) göre yeşil ot, kuru ot ve tohum verimlerinin artış gösterdiği ve en yüksek değerlere 7.5 kg/da gübre dozunda ulaşıldığı bildirilmiştir. Farklı ekolojilerde fiğ ve baklagil yem bitkisi türleri

ile yürütülen çok sayıdaki çalışmalarda (Al-Musri, 1989; Keatinge ve Chapanian, 1991; Özyazıcı ve Manga, 1996; Orak ve ark., 1997; Türk ve ark., 2007, 2009; Yıldız ve Türk, 2015) da, yeşil ve kuru ot/kuru madde verimi ile biyolojik verimin fosforlu gübrelemenin etkisi ile artış gösterdiği bildirilmiştir. Literatürlerdeki bu sonuçların araştırmamız bulgularıyla uyumlu olduğu görülmektedir.

Araştırma sonucuna göre; Siirt ili yarı kurak iklim koşullarında, fosforun çok az ve/veya az düzeyde bulunduğu toprak şartlarında, koca fiğın yazlık olarak yetiştiriciliğinde, ot üretimi amacıyla dekara saf 8-8.5 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, tohum verimi amacıyla ise dekara saf 9.7 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> hesabıyla fosforlu gübreleme yapılması önerilmektedir.

## Kaynakça

- Al-Musri, I. O. (1989). *Effects of Same Cultural Practics on The Performance of Two Forage Legume Species and Their Residual Effect on The Succeding Wheat*. Amman (Jarda), Jardon Univ., Dept. of Plant Production, 155p.
- Anonim. (2017). Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Siirt İli İklim Verileri. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=SIIRT>, Erişim tarihi: 28.11.2019.
- Anonim. (2019). Baklagil Yem Bitkileri Tarımsal Değerleri Ölçme Denemeleri Teknik Talimatı. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Büyükburç, U., & Karadağ, Y. (1999). Farklı fosfor dozlarının bazı adi fiğ türlerinde kök, gövde ve nodül gelişimine etkisi üzerine bir araştırma. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(1), 139-154.
- Colomb, B., Kiniry, R. J., & Debaeke, P. (2000). Effect of soil phosphorus on leaf development and senescence dynamics of field-grown maize. *Agronomy Journal*, 92(3), 428-435.
- Cömert, İ. H., 2014. *Harran Ovası Koşullarında Uygun Fiğ ve Tritikale Karışımının Farklı Fosfor Dozlarının Verim ve Verim Unsurlarına Etkileri*. (Yüksek lisans tezi), Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- Çimrin, K. M., Karaca, S., & Bozkurt, M. A. (2001). Fiğ+arpa karışımlarında gübrelemenin otun verim ve kimyasal kompozisyonuna etkisi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 7(4), 32-36.
- Eyüpoğlu, F. (1999). *Türkiye Topraklarının Verimlilik Durumu*. T.C. Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Yayınları, Genel Yayın No: 220, Teknik Yayın No: T-67, Ankara, 122s.
- Hadjipanayiotou, M. (2000). Chemical composition, digestibility and in situ degradability of narbon vetch grain and straw grown in a Mediterranean region. *Ann. Zootech.*, 49(6), 475-478.
- Kacar, B. (2012). *Temel Bitki Besleme*. Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti., Yayın No: 206, Ankara.
- Kacar, B., & Katkat, A. V. (2009). *Bitki Besleme*. Nobel Bilim ve Araştırma Merkezi Yayın No: 49, Nobel Yayın No: 849, Fen Bilimleri: 30, 4. Baskı, Ankara, 659s.
- Karaca, S., & Çimrin, K. M. (2002). Adi fiğ+arpa karışımında azot ve fosforlu gübrelemenin verim ve kaliteye etkileri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimler Dergisi*, 12(1), 47-52.
- Keatinge, J. D. H., & Chapanian, N. (1991). The effect of improved management on the yield and nitrogen content of legume hay/barley crop rotations in West Asia. *J. Agronomy and Crop Science*, 167, 61-69.
- Khasawneh, F. E., Sample, E. C., & Kamprath, E. J. (1980). *The Role of Phosphorus in Agriculture*. ASA -CSSA- SSSA, 677 South Segoe Road, Madison, WI. 53711, USA.
- Manga, İ., Acar, Z., & Ayan, İ. (2003). *Baklagil Yembitkileri*. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Ders Kitabı No: 7, (Genişletilmiş II. Baskı), Samsun, 451s.
- Orak, A., Tuna, C., & Nizam, İ. (1997). Tekirdağ kıraç koşullarında farklı azot gübre dozlarının macar fiğinin verimi ve verim komponentleri etkisi üzerinde bir araştırma. *Türkiye II. Tarla Bitkileri Kongresi*, 22-25 Eylül, Samsun, s. 426-430.
- Özyazıcı, M. A., & Manga, İ. (1996). Bafra ekolojik şartlarında farklı sıra aralığı ve fosforlu gübrelemenin, çayır üçgülü (*Trifolium pratense* L.)'nün kuru ot ve ham protein verimi ile otun ham protein oranına etkileri üzerine bir araştırma. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11(1), 13-25.
- Türk, M. A. (1997). Comparison between common vetch and barley to phosphorus fertilizer application, *Legume Research*, 20, 141-147.
- Türk, M. A., & Tawaha A. M. (2001). Common vetch productivity as influenced by rate and method of phosphate placement in Mediterranean environment, *Agric. Mediterr.*, 131, 108-111.
- Türk, M. A., & Tawaha, A. M. (2002). Impact of seeding rate, seeding date, rate and method of phosphorus application in faba bean (*Vicia faba* L. *minor*) in the absence of moisture stress. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 6(3), 171-178.
- Türk, M. A., Tawaha, A. M., & Samara, N. (2003). Effects of seeding rate and date and phosphorus application on growth and yield of narbon vetch (*Vicia narbonensis*). *Agronomie.*, 23(4), 355-358.
- Türk, M., Albayrak, S., & Yüksel, O. (2007). Effects of phosphorus fertilization and harvesting stages on forage yield and quality of narbon vetch. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 50, 457-462.
- Türk, M., Albayrak, S., & Yüksel, O. (2009). Effects of fertilisation and harvesting stages on forage yield and quality of hairy vetch (*Vicia villosa* Roth.). *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 52(3), 269-275.
- Yıldız, F., & Türk, M. (2015). Effects of phosphorus fertilization on forage yield and quality of common vetch (*Vicia sativa* Roth.). *YYU J AGR SCI*, 25(2), 134-139.
- Yılmaz, Ş. (2008). Effects of increased phosphorus rates and plant densities on yield and yield-related traits of narbon vetch lines. *Turk J Agric For.*, 32, 49-56.
- Yurtsever, N. (1984). *Deneysel İstatistik Metotlar*. T.C. Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Genel Yayın No: 121, Teknik Yayın No: 56, Ankara, 623s.



# Peyzaj Potansiyeli ve Kırsal Turizm İlişkisinin SWOT Analizi Yöntemiyle Değerlendirilmesi: Siirt İli Örneği

Arzu Altuntaş<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Siirt, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1258-3875)

(İlk Geliş Tarihi 20 Kasım 2019 ve Kabul Tarihi 22 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.636244)

**ATIF/REFERENCE:** Altuntaş, A., (2019). Peyzaj Potansiyeli ve Kırsal Turizm İlişkisinin SWOT Analizi Yöntemiyle Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1037-1044.

## Öz

Bir ülkenin ekonomik kalkınmasındaki temel ve güçlü sektörlerden biri turizm sektörüdür. Turizm, kişilerin başta dinlenme olmak üzere gezme, kültürel deneyim elde etme ve bunun gibi amaçlarla ikamet ettikleri yerden başka bir yerde kalarak yaptıkları uğraşların tümüdür. Turizm faaliyetlerine katılan insanlar kendilerini özellikle fiziksel, zihinsel ve ruhsal olarak yenilerken, aynı zamanda, bu faaliyetleri gerçekleştirdikleri ülkenin ya da bölgenin ekonomisini canlandırmakta ve gelişimlerine de katkıda bulunmaktadır. Son yıllarda artan talep ve ihtiyaçlar turizmin çeşitlenmesini sağlamış, alternatif turizm türleri ortaya çıkmıştır. Kırsal turizm de bu türlerden biridir ve özellikle göçün artmaya başladığı yörelerde ekonomiyi canlandırmak, göçü durdurmak gibi amaçlarla ortaya çıkmıştır.

Ülkemiz başta coğrafi konumu olmak üzere sahip olduğu peyzaj potansiyeli, doğal ve kültürel değerleri ile turizm sektörünün geliştiği ülkelerden biridir. Bu özellikleri Türkiye'de alternatif turizm türlerinin gelişmesini ve yaygınlaşmasını da elverişli hale getirmektedir. Bu çalışmada ülkemizin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Siirt ilinin sahip olduğu peyzaj potansiyeli ve kırsal turizm açısından elverişliliğinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Siirt, ekonomisi başlıca tarım ve hayvancılığa dayanan, nüfusunun yarısından fazlasının kırsal alanlarda yaşadığı illerimizden biridir. Belirtilen amaç doğrultusunda ilin mevcut yapısı ortaya konulmuş ve literatür taraması, arazi gözlemleri, konuyla ilgili uzman görüşleri yardımıyla SWOT analizi yöntemiyle ilin kırsal turizm potansiyeli değerlendirilmiştir. Çalışmadan elde edilen veriler ve analizler doğrultusunda Siirt ilinin doğal ve kültürel yapısı ile kırsal turizm açısından bir potansiyele sahip olduğu, fakat bu potansiyelin kullanılabilmesinin doğru politikalar, teşvikler ve eylemlerle gerçekleştirilebileceği ulaşılan sonuçlar arasında yer almaktadır. Özellikle güvenlik konusunda bölgeye olan önyargının ortadan kaldırılması, yöre halkının kırsal turizm konusunda farkındalık ve bilinç düzeylerinin artırılması da son derece önemli bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Turizm, Kırsal Turizm, Peyzaj Potansiyeli, Siirt, SWOT

## Evaluation of the Relationship between Landscape Potential and Rural Tourism by SWOT Analysis: The Case of Siirt Province

### Abstract

One of the basic and strong sectors in a country's economic development is the tourism sector. Tourism is all of the activities of people staying in a different place from where they live for the purposes of resting, traveling, obtaining cultural experience and so on. While participating in tourism activities, they renew themselves especially physically, mentally and spiritually, while at the same time they stimulate the economy of the country or region in which they carry out activities and contribute to their development. In recent years,

\* Sorumlu Yazar: Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Siirt, Türkiye, ORCID: 0000-0003-1258-3875, [arzualtuntas@yahoo.com.tr](mailto:arzualtuntas@yahoo.com.tr)

increasing demand and needs have led to the diversification of tourism and alternative types of tourism have emerged. Rural tourism is one of these types and it has emerged for the purpose of revitalizing the economy and stopping migration especially in the regions where migration has started to increase.

Our country which has got a suitable geographical position, especially its landscape potential, natural and cultural values and so on is one of the countries where tourism sector develops. These features make Turkey eligible in terms of the development and diffusion of alternative types of tourism. In this study, it is aimed to reveal convenience of the landscape potential and rural tourism potential in Siirt, which is located in the Southeastern Anatolia Region of Turkey. Siirt is one of the provinces where the economy is mainly based on agriculture and stockbreeding and more than half of the population lives in rural areas. In line with the mentioned purpose, the existing structure of the province has been put forward and rural tourism potential of the province has been evaluated by SWOT analysis method with the help of literature survey, field observations and expert opinions. According to the data and analysis obtained from the study, Siirt province has a potential in terms of natural and cultural structure and rural tourism, but it is among the results that the use of this potential can be realized through correct policies, incentives and actions. It was also found extremely important to eliminate the prejudice against the region, and to increase the awareness of the local people on rural tourism.

**Keywords:** Tourism, Rural Tourism, Landscape Potential, Siirt, SWOT

## 1. Giriş

Turizm, insanların dinlenme, eğlence, kültürel deneyim, aile ziyareti, spor, sağlık, iş ve bunun gibi amaçlar sebebiyle kişisel ya da toplu olarak gerçekleştirdikleri, buldukları yer dışında konaklamalarıyla ortaya çıkan bir eylem, sosyal bir olay, hizmet ve kültür endüstrisi olgusudur (Olalı vd. 1983, Topay 2003). Özellikle Endüstri Devrimi ile başlayan gelişmeler ve değişimler insanları turizm faaliyetlerine yönlendirmeye ve turizm de dünyadaki önemli ekonomik sektörlerden biri olarak gelişmeye başlamıştır.

Kişiler özellikle fiziksel, zihinsel ve ruhsal kapasitelerini arttırmak, rahatlamak, kendilerini yenilemek amacıyla turizm faaliyetlerine katılmakta ve standart turist tipini geride bırakmaktadır. Bugünün koşulları, dünyanın içinde bulunduğu olumsuzluklar, yaşam şartları insanların turizm ihtiyaçlarının artmasındaki en büyük etkenlerdir. Teknolojinin gelişmesi ve beraberinde getirdiği sorunlar, iş temposunun yoğunluğu, kirlilik düzeylerinin artması (hava, su, gürültü vb) doğal alanlara olan ilgiyi arttırmakta ve bunun sonucu olarak da alternatif turizm tiplerine olan talebin günden güne gelişmesini sağlamaktadır (Gülbay, 2016). Önceleri çok az insan tarafından sınırlı alanlarda yapılan alternatif turizm türleri, yeni arayışlar içine giren günümüz insanının keşfetme tutkusuyla birlikte daha geniş boyutlara ulaşmıştır (Yaşaroğlu, 1992; Yıldız ve Kalağan, 2008; Dönmez vd. 2016). Alternatif turizm türlerinden biri de kırsal turizmdir.

Kırsal turizm, özellikle ekonomik sıkıntılar nedeniyle nüfusun azalmaya başladığı kırsal alanlarda, ekonomiye katkı sağlayarak göçün önüne geçmeyi amaç edinen turizm faaliyetidir. Ülkemizde kırsal denildiğinde akla doğrudan “kırsal alanlar” gelmektedir. Bu nedenle yayla turizmi, av turizmi, mağara turizmi, ekoturizm ve açık hava doğa sporları gibi turizm faaliyetleri de kırsal turizm olarak değerlendirilmektedir. Aslında bu durum yanlış olmamakla birlikte kırsal turizmi tam olarak karşılamamaktadır. Çünkü kırsal turizmde konaklama bir köyde, dağ evinde ya da çiftlikte gerçekleşmekte; kırsal turizme katılan insanlar kaldıkları yörenin kırsal kültürüyle tanışmakta ve kaynaşmakta, böylece tatil zamanlarını bu şekilde geçirmektedirler. Bu açıdan bakıldığında da amaç, etkinlikler ve uygulamalar konusunda bazı farklılıklar ortaya çıkmaktadır (Soykan, 2003). Soykan (1999) ve Soykan (2003)’e göre kırsal turizm kırsal kültür, doğal çevre ve tarımla bütünlenen, ayrıca diğer turizm türleriyle de son derece kolay entegre edilebilen bir turizm türüdür. Bundan dolayı yerel, ulusal ve uluslararası düzeylerde zenginleştirilebilen içeriği sayesinde dünyanın birçok ülkede insanları kırsal alanlara çekebilmektedir.

Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü (2013)’ne göre, kırsal turizmin gelişmesi ve sürdürülebilir olması için birtakım kriterler bulunmaktadır. Bunlar biyolojik çeşitliliğin korunması, ekonomik tutarlılık, kültürel zenginlik, yöre halkının refahı, istihdam kalitesi, sosyal eşitlik, ziyaretçi memnuniyeti, yetkinin yerele doğru dağıtılması, toplumun genelinin refah ve mutluluğu, fiziki bütünlük, kaynakların etkin kullanımı ve çevre temizliği ölçütleridir.

Türkiye sahip olduğu doğal ve kültürel özellikleri ile önemli bir turizm merkezidir. Ülkemizin neredeyse her bölgesi alternatif turizm türleri için son derece elverişli olmakla birlikte özellikle Doğu ve Güneydoğu illerimiz birtakım nedenlerden (güvenlik, mesafe vb) dolayı turizm faaliyetlerinden hak ettikleri karşılığı alamamaktadır. Bu çalışmada Siirt ili örneğinde kırsal turizm potansiyelinin ve kırsal turizmin bölgeye sağlayacağı katkının değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Araştırma alanı Siirt ili idari sınırlarıdır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde 41° 57' doğu boylamı ve 37° 55' kuzey enlemi üzerinde dağlık bir alanda yer alan Siirt, doğudan Van, batıdan Batman, kuzeyden Bitlis, güneyden Mardin ve Şırnak illeri ile çevrilidir (Şekil 1).





Şekil 1. Siirt ilinin coğrafi konumu

Araştırma alanının seçiminde Siirt ilinin doğal, kültürel, tarihsel ve dinsel özellikleri, bölgede yer alan ve turizm açısından dikkat çeken merkezlere yakınlığı, kırsal turizm ve diğer alternatif turizm çeşitleri için uygun bir potansiyele sahip olması ve yöre halkı için bir başka ekonomik gelir kaynağı oluşturacağı düşüncesi etkili olmuştur. Alanla ilgili özellikler Orman ve Su İşleri Bakanlığı (2014), Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2013), Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü (2013), Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2014), TÜBİVES (2015), Siirt Valiliği (2015), Siirt Belediyesi (2017), TÜİK (2018), GAP Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı (2015) tarafından yapılan çalışmalardan, literatür taramalarından, yöre halkı ile yapılan görüşmelerden ve gözlemlerden elde edilen verilerle ortaya konulmuştur.

### 2.1.1. Metot

Siirt ili örneğinde kırsal turizm potansiyelinin ve kırsal turizmin bölgeye sağlayacağı katkının değerlendirilmesi amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada öncelikle Siirt ile ilgili veriler toplanarak sahip olduğu doğal, kültürel, tarihsel vb özellikler belirlenmiştir. Daha sonra SWOT Analizi yöntemiyle bölgenin kırsal turizm potansiyeli irdelenmiştir. SWOT Analizinde elde edilen tüm veriler değerlendirilerek S (Strength: güçlü yönler), W (Weakness: zayıf yönler), O (Opportunity: fırsatlar) ve T (Threat: tehditler / tehlikeler) ortaya konulmaktadır. Bu yöntem kırsal turizm olanaklarının belirlenmesinde araştırmacılar tarafından kullanılan bir yöntemdir. Spatarıu vd (2010), Çeltek (2004), Ongun ve Gövdere (2014), Soykan (1999), Soykan (2003), Ongun vd (2016), Mansuroğlu ve Dağ (2016) gibi araştırmacılar örnek alanlarda benzer çalışmalar yürütmüşlerdir. Ayrıca çalışmada arazi gözlemlerinden ve uzman görüşlerinden de faydalanılmıştır.

## 3. Bulgular

### 3.1. Siirt İli Doğal Özellikleri

6.186 km<sup>2</sup>'lik yüzölçümüne sahip Siirt ili 895 rakımlı olup Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin kuzeydoğusunda yer almaktadır. Dicle Irmağı, Botan Çayı, Garzan Çayı, Kezer Çayı ve Behranca Deresi en önemli akarsularıdır (Anonim, 2018).

Yıllık ortalama sıcaklığın 16,1°C olduğu ilde kış ayları sıcaklık ortalaması 2,7 - 4,8°C arasında değişmekte ve yaz ayları sıcaklık ortalaması ise 30,5°C civarındadır. Sıcaklığın en düşük olduğu ay Ocak, sıcaklığın en yüksek olduğu ay ise Ağustos ayıdır. 1960-2013 yılları arasında Ocak ayında ölçülen en düşük sıcaklık -15,6°C ve Ağustos ayında ölçülen en yüksek sıcaklık değeri ise 46,0°C'dir. İlin yıllık ortalama yağış miktarı ise 691,5 mm'dir. Aylık en yüksek yağış miktarı 104,4 mm ile Mart ayında, en düşük yağış miktarı ise 1,0 mm ile Ağustos ayında görülmektedir (Anonim, 2015).

Anonim (2013a)'e göre Siirt ilinin % 75'i dağlarla ve % 22'si ise ovalarla kaplıdır. İlin özellikle kuzeyinde ve doğusunda yüksek ve sarp kesimler bulunmaktadır. Siirt'te bulunan ve ili çevreleyen belli başlı dağlar Tandır Dağı (2.170 m), Garzan Dağı (1.055 m), Hasteri Dağı (2.700 m), Doğruyol Dağı (2.650 m), Tartı Tepe (2.268 m), Tünek Dağı (2.100 m), Yazlıca Dağı (2.943 m), Körkandı Dağı (2.821 m) ve Martepe Dağı (2.812 m)'dir.

Yapılan araştırmalar sonucunda ilin jeolojik yapısı değişik yaş gruplarında başkalaşım kayalarının olduğunu göstermektedir. Bunlar arasında özellikle Siirt – Bitlis arasındaki başkalaşım kayaları serisi en eski olan gruptur. “Midyat Kalkerleri” denilen oluşumlara da yoğun bir şekilde rastlanmaktadır. Bu oluşumlar özellikle Merkez ilçenin güneyinde yoğun olarak görülmektedir. Ayrıca “Cas taşı” olarak bilinen ve eski yapılarda harç malzemesi olarak kullanılan jipslere de rastlanmaktadır (Anonim, 2013a). Cas taşı yöre mimarisini şekillendirmiş ve Cas evleri olarak bilinen yapıların da inşa edilmesinde kullanılmıştır (Şekil 2).





Şekil 2. Cas evleri (Anonim, 2013b)

Yaklaşık olarak %35'i orman ve koruluklarla kaplı olan il orman varlığı bakımından zayıf bir karakter göstermektedir. Bu alanların % 75'i boşluklu kapalı kuru ve geri kalanı ise normal kapalı kuru ve orman şeklindedir. Çayır ve mera alanlarının oranı %6 civarındadır. En sık rastlanan orman ağacı türü *Quercus brantii* (İran palamut meşesi)'dir (Anonim, 2013a). Siirt fıstığı adıyla bilinen *Pistacia vera L.* (Şekil 3) türü ile bittim adıyla bilinen *Pistacia khinjuk* (Şekil 4) da ilde yaygın olarak bulunan ve yöre halkı tarafından özellikle ekonomik amaçla yetiştirilen türlerdir. Bu türlerin dışında söğüt, kavak, karaçam, çınar, ardıç, sumak gibi türler bulunmaktadır.



Şekil 3. *Pistacia vera L.* (Anonim, 2019b)



Şekil 4. *Pistacia khinjuk* (Anonim, 2019b)

TÜBİVES (2015) verilerine göre Siirt'te 320 bitki taksonu tespit edilmiş olup bunlardan 43 adedi endemik tür olarak tescillenmiştir. 2017 yılında ise Siirt'in Pervari ilçesinde, *Allium pervariensis* adı verilen yeni bir endemik tür tespit edilerek kayıt altına alınmıştır (Anonim, 2018). Bu endemik türler arasında özellikle *Salvia siirtica* (Siirt adaçayı) ve *Hycintella siirtensis* (Siirt kopçası), *Fritillaria imperialis* (Ters lale) ve *Populus fratica* (Fırat kavağı) en fazla bilinen türlerdir.

Siirt ili fauna varlığı konusunda yeterince çalışma bulunmamasına karşın; özellikle *Buteo rufinus* (şahin), *Circaetus gallicus* (kartal), *Falco biarmicus feldegg* (doğan), *Gyps fulvus* (akbaba), *Sterna hirundo* (kırlangıç), *Alectoris chukar cypriotes* (keklik), *Ardea cinerea* (balıkçıl kuşu), *Carduelis Carduelis* (saka), *Lynx caracal* (karakulak), *Felis chaus* (sazlık kedisi), *Mustela nivalis* (bayağı gelincik), *Hyaena hyaena* (çizgili sırtlan) gibi türlerin varlığından söz etmek mümkündür (Anonim, 2013a).

Siirt ili Tillo ilçesinde 40 hektar alana sahip Tillo Tabiat Parkı bulunmaktadır (Şekil 5). Alan 2014 yılında tabiat parkı olarak ilan edilmiş olup 2018 yılında kullanıma açılmıştır. İçerisinde kır kahvesi, kır lokantası, idare binası, ziyaretçi merkezi, yöresel ürün satış birimleri, büfe, WC mescit, pergolalar ve otopark alanları bulunmakta olup ziyaretçiler tarafından gününbirlik olarak kullanılmaktadır. Ayrıca Botan Vadisi ve Deliklitaş, Siirt ilinde bulunan doğal peyzaj özellikleri arasında yer almakta olup Botan Vadisi özellikle yamaç paraşütü açısından tercih edilmektedir (Şekil 6).



Şekil 5. Tillo Tabiat Parkı (Orijinal, 2018)



Şekil 6. Botan Vadisi ve Deliklitaş (Orijinal, 2018)

### 3.2. Siirt İli Kültürel Özellikleri

Siirt ve çevresi, milattan önceki yıllarda Samiler, Babil ve Asur İmparatorlukları, Medler ve Perslerin egemenliği altında bulunurken; milattan sonraki yıllarda ise Romalılar, Partlar ve Sasanilerin hakimiyeti altına girmişlerdir (Anonim, 2013a).

Türklerin Anadolu'ya yerleşmesinin ardından Türk beylikleri ve sonrasında Selçukluların yönetiminde kalan bölge 1514 Çaldıran Savaşı ile birlikte Osmanlı İmparatorluğu'na katılmıştır (Anonim, 2013a).

Osmanlı İmparatorluğu döneminde önce Diyarbakır'a, sonra da Van'a bağlı bir sancak olan Siirt, Cumhuriyetin ilanı ile birlikte il olmuştur. 1990 yılında Batman ve Şırnak ilçelerinin il olmasıyla birlikte Siirt yeniden yapılandırılmıştır. Siirt ili bugün artık Merkez, Aydınlar (Tillo), Baykan, Eruh, Kurtalan, Pervari, Şirvan olmak üzere 7 ilçeden oluşmaktadır (Anonim, 2019a).

İlde çeşitli zamanlarda yapılan birtakım eserler bulunmaktadır. Bunlar arasında en önemlileri arasında Veysel Karani Türbesi, Sultan Memduh Hazretleri Türbesi, Şeyh Muhammed Kazım Türbesi, İrun Kalesi kalıntıları, Derzin Kalesi kalıntıları, Şeyh Hamza El-Kebir Hazretleri Türbesi, Kalet'ül Üstad kalıntıları, İbrahim Hakkı Hazretleri Türbesi, İsmail Fakirullah Hazretleri Türbesi, İncekaya (Kormas) Kalesi kalıntıları, Şeyhul Hazin Hazretleri Türbesi, Şeyh İbrahim El Mücahid Türbesi, Zemzem-ül Hassa Hatun



Türbesi, Gusir Höyük, Ulu Cami ve Cumhuriyet (Hıdr-ul Ahdar) Cami gelmektedir (Şekil 7) (Anonim, 2019a). Ayrıca milattan önceki devirlerde yapılan ve “zor geçit” anlamına gelen Akabe Yolu da Siirt’te bulunmaktadır.



Şekil 7. Siirt ili türbelerinden bazıları (Orijinal, 2018)

### 3.3. Siirt İli Sosyo-ekonomik Özellikleri

Merkez ilçe ile birlikte toplam 7 ilçeden (Aydınlar (Tillo), Baykan, Eruh, Kurtalan, Pervari, Şirvan) oluşan Siirt ilinin nüfusu TÜİK (2018) verilerine göre 331.670 kişidir (TÜİK, 2018). Siirt iline bağlı 63 mahalle ve 275 köy bulunmaktadır. 2018 yılı itibariyle 166.332 kişi merkez ilçede yaşarken nüfusun geri kalanı diğer ilçe ve köylerde ikamet etmektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Siirt İli Nüfus Verileri (TÜİK, 2018)

İlçe Adı / Yıllar	2007	2013	2018
Baykan	28561	27323	26160
Eruh	19447	19903	20513
Kurtalan	55076	58033	59647
Merkez	127881	152539	166332
Pervari	32642	32453	32128
Şirvan	24054	23986	22580
Tillo	3867	4129	4310
<b>TOPLAM</b>	<b>291528</b>	<b>318366</b>	<b>331670</b>

Siirt ili ekonomisi tarım ve hayvancılığa dayanmaktadır. GAP Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı'nın 2019 yılı verilerine göre Siirt ili toplam tarım alanı 89.454 ha'dır. Bunun %56,8'i tahıl ve diğer bitkisel ürün yetiştirmede, %35,5'i meyve, içecek ve baharatlı bitki üretiminde, %2,1'i ise sebze bahçesi olarak kullanılmaktadır. Tarım alanlarının %5,6'sı nadasa bırakılmaktadır.

Siirt ili büyükbaş hayvan varlığı 34.918, küçükbaş hayvan varlığı 1.250.1453'tür. Arıcılık ise bölgenin geçim kaynaklarından biridir (GAP Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı, 2019).

Sanayi sektörünün gelişmesi amacıyla bölgesel ve sektörel açıdan teşvik politikaları düzenlenerek yeni yatırımlar teşvik edilmektedir. İlde 1 adet organize sanayi bölgesi ve 1 adet küçük sanayi sitesi bulunmaktadır. 2016 yılı itibariyle Siirt ili imalat sanayi tesisi sayısı 69'dur. Gıda sektöründe 20, tekstil ve deride 1, kimya - petrol ve plastikte 13, taş ve toprağa dayalı sanayide 24, makine – metalde 7, orman ve kâğıt ürünlerinde 4 adet firma üretim yapmaktadır (GAP Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı, 2019).

GAP Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı'nın uyguladığı Entegre Kırsal Kalkınma Programı'na göre 2012 yılından beri Zivzik narı yetiştiriciliği, Siirt fıstığı, sumak, bıtım üretimi, organik tarım, organik arıcılığın ve seracılığın geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması projeleri gibi projeler desteklenmektedir (GAP Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı, 2019).

Bunların dışında 2011 yılında GAP Bölgesi Turizm Master Planı hazırlanarak onaylanmıştır. Bu plana göre bölgenin koruma-kullanma dengesi gözetilerek bütüncül bir yaklaşımla ve turizm odaklı olarak değerlendirilmesi, istihdam oranının artırılması, turizm hareketlerinin daha sürdürülebilir olması ve turizmden elde edilecek gelirin artırılması amacıyla markalaşma ve tanıtım faaliyetlerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda bir eylem planı hazırlanmış, haritalar üretilmiş, saha çalışmaları yapılmış,

tanıtımlarla ilgili bölge paydaşlarından geribildirimler alınmış, tematik ve kent rotaları oluşturulmuş ve internet destekleri sağlanmıştır (GAP Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı, 2019).

### 3.3. Siirt İli Kırsal Turizm Olanaklarına İlişkin SWOT Analizi

Güçlü Yönler (S)	Zayıf Yönler (O)
<ul style="list-style-type: none"><li>• Yörenin bozulmamış bir peyzaj potansiyeline sahip olması</li><li>• Yöre halkının misafirperverliği</li><li>• Yöredeki tarım alanlarının miktarının fazla olması ve organik tarıma uygun alanların çok olması</li><li>• Topoğrafik yapının yayla gezileri ve günübirlik rekreasyon aktiviteleri için uygun olması</li><li>• Siirt'in coğrafi işaretlerinin çeşitliliği ve endemik türlerin varlığı</li><li>• Botan Vadisi</li><li>• Yamaç paraşütü ve yürüyüş rotaları</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Yöre halkının kırsal turizm konusunda yeterli bilgiye sahip olmaması</li><li>• Yörenin yeterince tanıtımının ve reklamının yapılmaması</li><li>• Konaklama birimleri ve otel sayısında yetersizlik</li><li>• Köyden kente göçün artması ve kırsal nüfusun azalma eğiliminde olması</li></ul>
Fırsatlar (W)	Tehditler (T)
<ul style="list-style-type: none"><li>• Kırsal turizme olan ilginin artması</li><li>• Yakınlarındaki yerleşimlerin turizm potansiyellerinin yüksek olması (Mardin, Hasankeyf, Van...)</li><li>• "Kırsal Turizmi Destekleme Programı" kapsamında komşu iller olan Van ve Mardin'de uygulanan projelerin bulunması</li><li>• Din turizmi açısından çok elverişli bir alan olması, özellikle Veysel Karani ve İbrahim Hakki Hz. Türbeleri'nin ilde olması</li><li>• Havaalanının bulunması</li><li>• Karayolu bağlantılarının olması</li><li>• Demiryolu ulaşımının olması (Kurtalan Tren İstasyonu'ndan)</li><li>• GAP Bölgesi Turizm Master Planı'nın bulunması</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Bölgenin sosyo-kültürel yapısının bozulması</li><li>• Doğal alanların yok edilmesi veya tahrip edilmesi</li><li>• Güvenlik ve terör endişesiyle bölgeye yönelik bir ön yargının olması</li></ul>

## 4. Sonuç

Türkiye başta doğal tarihi zenginlikleri ve bunun sonucunda oluşan turizm çeşitliliği ile son derece zengin ve turizm açısından fırsatlarla dolu bir ülkedir. Fakat Türkiye sahip olduğu bu turizm potansiyelini yeterince kullanamamakta, diğer ülkelere göre bu sektörden daha az gelir elde etmektedir. Bu durumun en önemli sebeplerinin başında kaynakların akılcı ve rasyonel kullanılmaması gelmektedir. Oysaki dünyanın diğer ülkeleri, ellerinde daha az imkan ve kaynak olmasına rağmen, bunları en verimli şekilde değerlendirerek çok daha fazla gelir elde etmekte ve ekonomilerini geliştirmektedirler. Gülbay (2016)'ya göre ülke ölçeğinde turizm sektörünün gelişmesi ve ilerlemesi ancak bölgeler arası gelişmişlik farklarının azaltılması, turizmden elde edilen gelirlerin artması, alternatif turizm çeşitlerinin yaygınlaştırılması ve iç göçün ortadan kaldırılmasıyla mümkün olabilecektir.

Ülkemizde bulunan diğer illerde olduğu gibi Siirt ili de sahip olduğu turizm potansiyeliyle bu alanda geliştirilebilecek iller arasında yer almaktadır. Fakat bunun için, hazırlanan eylem planlarının yanı sıra yöre insanının, bölge ve il karar vericilerinin de konuyla ilgili belirgin adımlar atması oldukça önemlidir. Öncelikli olarak yöre halkının eğitilmesi, turizm ve alternatif turizm konusunda farkındalık yaratılması ve konu hakkındaki bilinç düzeyinin artırılması bu adımların başında gelmektedir. Bir diğer önemli nokta ise ilin sahip olduğu peyzaj potansiyeline ilişkin envanter oluşturulmasıdır. Yerel ve bölgesel düzeyde kurumlar arası işbirliği, gerekli envanterin hazırlanması sürecini hızlandırabilecek bir durumdur.

Siirt ili alternatif turizm olanaklarının artırılması ve geliştirilmesi amacıyla yerel halka eğitim verilmesi ve bu eğitimlerle birlikte yerel ve bölgesel düzeyde festival ve etkinliklerin oluşturulması da atılabilecek somut adımlar arasında yer almaktadır. Bunlarla ilgili reklam ve tanıtımlar gerçekleştirilmeli, özellikle turizm yatırımlarının artırılması amacıyla yerel girişimciler teşvik edilmelidir.

## Kaynakça

- Anonim, (2013a). Siirt İlinde Doğa Turizmi Master Planı: 2013 – 2023. (mülga) T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, Siirt Şube Müdürlüğü, Siirt.
- Anonim, (2013b). Cas Evleri. <https://www.turkeyfromtheinside.com/places-to-go/s/187-srt.html> (Erişim tarihi: 05.08.2019)
- Anonim, (2015). Tillo Tabiat Parkı Gelişme Planı. (mülga) T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, Siirt Şube Müdürlüğü, Siirt.
- Anonim, (2018). Siirt İli Çevre Durum Raporu. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, ÇED ve Çevre İzinleri Şube Müdürlüğü, Siirt.
- Anonim, (2019a). Türkiye kültür portalı. T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı. <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/siirt/> (Erişim tarihi: 05.08.2019)
- Anonim, (2019b). *Pistacia vera L.* ve *Pistacia khinjuk* Google görüntüleri.
- Çeltek, E. (2004). “Kırsal Turizm ve Tokat İlinin Kırsal Turizm Potansiyelinin S.W.O.T. Analizi”, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sakarya.
- Dönmez, Y., Türkmen, F., Aytemiz, L., Çabuk, S. (2016). Kırşehir İli Mucur İlçesinin Turizm Potansiyel olanaklarının İncelenmesi. II. Ulusal Sürdürülebilir Turizm Kongresi, 28 – 30 Nisan 2016, Antalya, Türkiye, 406 – 416 s.
- GAP Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı (2019) Siirt İli Profili. T.C. Kalkınma Bakanlığı.
- Gülbay, F. (2016). Alternatif Turizme Genel Bir Bakış. I. Ulusal Alternatif Turizm Kongresi, 07-09 Nisan 2016, Erzincan, 217-222 s.
- Mansuroğlu S., Dağ V. (2016). Bingöl İlinin peyzaj potansiyelinin kırsal turizm olanakları (SWOT analizi yöntemi kullanılarak) açısından değerlendirilmesi. *Mediterranean Agricultural Sciences*, Sayı: 29(1), 9-16 s., Antalya
- Olalı, H., Nazilli, S. S., Kırıcıoğlu, E. N., Sümer, M. (1983). Dış Tanıtım ve Turizm Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları. Ankara.
- Ongun, U., ve Gövdere, B. (2014). “Bölgesel Kalkınmada Kırsal Turizmin Etkisi: Ağlasun Yeşilbaşköy Örneği”, *International Journal of Social and Sciences*, 4 (2), 51-57.
- Ongun U., Gövdere B., Çiçek U. (2016). Yeşilova'nın Kırsal Turizm Potansiyelinin SWOT Analizi ile Değerlendirilmesi. *SDÜ Vizyoner Dergisi*, Cilt: 7, Sayı: 16, 75-88 s., Isparta.
- Soykan, F. (1999). Doğal çevre ve kırsal kültürle bütünleşen bir turizm türü: Kırsal turizm. *Anatolia Turizm Araştırmaları Dergisi (Türkçe)*. Yıl :10, Mart-Haziran, 67-75.
- Soykan, F. (2003). Kırsal Turizm ve Türkiye Turizmi İçin Önemi. *Ege Coğrafya Dergisi*, Sayı: 12, İzmir, 1-11 s.
- Spatariu, E. C., Trandafir, R. A., and Lazar, C. M. (2010). “The Swot Analysis of the Rural Tourism in the South-Eastern Romania”, *Ovidius University Annals*, 10, 1315-1319.
- TÜBİVES, (2015). Siirt İli Taksonları. <http://www.tubives.com/> (Erişim tarihi: 20.03.2019)
- TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu) (2018) Siirt ili nüfus verileri. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr> (Erişim tarihi: 05.08.2019)
- Topay, M. (2003). Bartın-Uluyayla Peyzaj Özelliklerinin Rekreasyon-Turizm Açısından Değerlendirilmesi Üzerine Bir Araştırma. Doktora tezi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, 226 s., Ankara.
- Yaşaroğlu, Ş. A. (1992). Turizm Bilincini Geliştirme, Turizm Eğitimi Konferansı Workshop, Turizm Bakanlığı Turizm Eğitimi Genel Müdürlüğü. Ankara.
- Yıldız, Z., ve Kalağan, G. (2008), ‘Alternatif Turizm Kavramı ve Çevresel Etkileri’, *Yerel Siyaset Aylık Bilimsel Siyasi Dergi*, 35, 42 – 44





# CBS ve AHY Yöntemi Kullanılarak Bucak (Burdur/Türkiye) Mermer Atık Sahasının Belirlenmesi

Kerem Hepdeniz<sup>1</sup>, İbrahim İskender Soyaslan<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bucak E.G. Tek. Bil. MYO, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Burdur, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4182-5570)

<sup>2</sup> Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Burdur, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5282-8094)

(İlk Geliş Tarihi 21 Kasım 2019 ve Kabul Tarihi 22 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.656601)

**ATIF/REFERENCE:** Hepdeniz, K., & Soyalsan, İ., İ., (2019). CBS ve AHY Yöntemi Kullanılarak Bucak İlçesi (Burdur/Türkiye) Mermer Atık Sahasının Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1045-1057.

## Öz

Bucak ilçesi, Türkiye'nin Batı Akdeniz bölgesinde yer alan Burdur ilinin nüfus ve ekonomi açısından en büyük ilçesidir. Burdur ili de mermer sanayisinin gelişim gösterdiği önemli iller arasında yer almaktadır. Burdur ilindeki mermer fabrika ve işletmelerinin yarısından fazlası Bucak ilçesinde bulunmaktadır. Mermerin ocaktan çıkarılması ve fabrikada işlenmesi sonucunda, elde edilen mamul mermer dışında kalan bütün mermer parça ve tozları atık olarak kabul edilmektedir. Bu mermer atıklarının düzenli depolanma alanlarının belirlenmesi ise işletmeler açısından önemli bir sorundur. Bu makale, Bucak İlçesi'ndeki mermer atık sahası (MAS) seçiminde Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) esaslı çok kriterli bir yer seçim çalışmasını kapsamaktadır. AHY yöntemi, karar verme kriterlerinin ağırlıklarını çift yönlü karşılaştırma yöntemiyle değerlendirir. CBS ise karar verme kriterlerinin konum analizlerinin yapıldığı bir araç olarak kullanılır. MAS yer seçiminde karar verme kriterleri olarak: Yerleşim birimleri, yollar, akarsular, kuyular, su depoları, mermer ocakları, mermer fabrikaları, eğim, arazi kullanımı ve jeoloji parametreleri kullanılmıştır. Bu parametrelerden: Akarsu, yol, yerleşim yeri, su deposu, kuyu, ocak yeri, fabrikalar, arazi kullanımı ve jeoloji haritası CBS ortamında sayısallaştırılarak hazırlanmıştır. Tüm çalışma alanını içine alan topoğrafik haritalar sayısallaştırılarak 10x10 çözünürlüğünde sayısal yükseklik modeli (SYM) haritası elde edilmiştir. SYM haritasından 9 kritere ilave olarak eğim haritası oluşturulmuştur. Tüm kriterler için mesafe analizi yapılmış ve her biri için sembol sekmesi kullanılarak sınıf aralıkları oluşturulmuştur. Bu kriterlerden sadece arazi kullanımı ve jeoloji kriterlerine mesafe analizi uygulanmamış; doğrudan raster haritasına dönüştürülmüşlerdir. Raster katmanına dönüştürülen tüm kriterler için yeniden sınıflandırma işlemi uygulanmış ve 1-6 arasında değişen sınıf aralığı değerleri atanmıştır. İkili karşılaştırma yöntemi (Pairwise comparison) kullanılarak her bir kriterin kendi arasında etki dereceleri belirlenmiştir. Bu karşılaştırma sonucunda en önemli kriterin jeoloji olduğu tespit edilmiştir. Etki dereceleri ve sınıf aralık değerleri kullanılarak ağırlıklı çakıştırma analizi uygulanmıştır. Bu analiz sonucunda, çalışma sahasında "çok uygun" olarak nitelendirilebilecek alanların tüm çalışma alanı içerisinde sadece %3,2'lik bir alanı kapladığı ve orta ve kuzeybatı kesimlerinde yoğunlaştığı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Atık Alanı, Yer Seçimi, AHP, CBS,

## Determination of the Marble Waste Site in Bucak (Burdur / Turkey) Using GIS and AHP Method

### Abstract

Bucak province of Turkey, Burdur is located in the western Mediterranean region is the largest district of the province in terms of population and economic. Burdur is one of the important provinces where the marble industry has developed. More than half of the marble factories and enterprises in the province of Burdur are located in the district of Bucak. As a result of the extraction of the

\* Sorumlu Yazar: Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Burdur, Türkiye, ORCID: 0000-0001-5282-8094, [isoyaslan@gmail.com](mailto:isoyaslan@gmail.com)

marble from the quarry and processing in the factory, all marble parts and dusts except the manufactured marble are considered as waste. Determining the regular storage areas of these marble wastes is an important problem for the enterprises. This paper covers a multi-criteria site selection study based on the analytical hierarchy process (AHP) and geographic information systems (GIS) in the selection of marble waste sites (MAS) in Bucak District. The AHP method evaluates the weights of decision-making criteria by a pair wise comparison method. GIS is used as a tool for the location analysis of decision-making criteria. Decision-making criteria for the selection of the marble waste area: Settlements, roads, rivers, wells, water reservoir, marble quarries, marble factories, slope, land use and geology were used. Among these parameters: River, road, settlement, water reservoir, well, quarry, factories, land use and geology map were prepared by digitizing in GIS. Topographic maps covering the entire study area were digitized and a 10x10 resolution digital elevation model (DEM) map was obtained. In addition to the 9 criteria, a slope map was created from the DEM. Distance analysis was performed for all criteria and class intervals were created for each using the symbol tab. All of these criterias, were directly converted to raster maps; distance analysis was not applied to land use and geology criteria. A reclassification was performed for all criteria that were converted to a raster layer and class range values ranging from 1-6 were assigned. Pairwise comparison method was used to determine the significance of each criterion. As a result of this comparison, the most important criterion was determined as geology. Weighted overlap analysis was applied using influence grades and class range values. As a result of this analysis, "very appropriate" areas that can be characterized; covers only 3.2% of the entire study area and is concentrated in the central and northwestern parts.

(Minimum 250 - Maximum of 400 words and content should be written in a way to include material, method, findings and results.)

**Keywords:** Waste Area, Site Selection, AHP, GIS,

## 1. Giriş

Türkiye'nin, mermer sektörü açısından dünya rezervlerinin önemli bir kısmına sahip olduğu bilinmektedir. Yapı çeşitliliği açısından 80' nin üzerinde, renk ve desen açısından ise 120' nin üzerinde mermer rezervi bulunmaktadır. Özellikle 1980' li yıllardan itibaren Türkiye doğal taş üretimi hızla artış göstermiş ve günümüzde üretimin tamamına yakını özel şirketler tarafından yapılmaktadır. Burdur ili Bucak ilçesi' nin karbonat kayaçlardan oluşan Toros Karst Kuşağı üzerinde bulunması, bölgeyi mermer sektörü açısından önemli bir konuma getirmiştir. İlçenin yaklaşık 3.250.000 m<sup>3</sup> civarında mermer rezervi ile 60 yıllık üretim rezervi olduğu tahmin edilmektedir (Özdamar, 2001).

Özellikle 1990' ların başından itibaren bölgedeki mermer ocakları ve fabrikaları hızla artış göstermiş; 45.000 nüfusa sahip ilçede (URL-1, 2019), 40' m üzerinde mermer fabrikası açılmıştır. Bu oran istihdam açısından sektörü ilk sıraya çıkarmıştır. Son yıllarda, katma değeri yüksek olan işlenmiş ürünlerin tercih edilmesi, fabrikalarda daha fazla mermer atığının açığa çıkmasına neden olmuştur. Bucak ilçesi ve yakın çevresine bakıldığında atık malzemenin birçok alanda gelişigüzel olarak doğaya bırakıldığı, kimi yerlerde dolgu malzemesi olarak kullanıldığı görülmektedir. Bucak ilçesinde doğaya vahşi depolama şeklinde geliş güzel bırakılan alanların; genellikle Gündoğdu, Onaç Seydiköy ve Organize Sanayi mevkiilerinde toplandığı yapılan arazi gözlemlerinde tespit edilmiştir (Soyaslan ve ark., 2011).

Katı atık depolanma alanlarının oluşturulmasındaki esas problem, uygun yer seçiminin yapılamamasıdır. Katı atık bertarafı için uygun ortamların bulunamaması, özellikle gelişmekte olan ülkelerin yerleşim alanlarının karşılaştığı en ciddi sorunlardan birisidir (Alkaradaghi ve ark., 2019).Uygun yer seçiminde ilgili yönetmeliklerle belirlenen kısıtlamalar, arazide bilgileri ve CBS programı ile daha sağlıklı bir şekilde entegre edilebilmektedir (Soyaslan ve ark., 2011). CBS, arazi kullanımı uygunluk analizleri için önemli bir araçtır. Haritalanmış görüntüler arasındaki mekânsal ilişkiyi tanıyabilir, ilişkilendirebilir ve analiz edebilir, böylece karar vericilerin farklı bilgi kaynaklarını birbirine bağlamasına, karmaşık analizler yapmasına, eğilimleri görselleştirmesine, sonuçları yansıtmasına ve uzun vadeli planlama hedefleri için strateji geliştirmesine olanak tanır (Malczewski, 2004). Aynı zamanda CBS ekonomik ve pratik bir metottur (Yazdani ve ark., 2015)

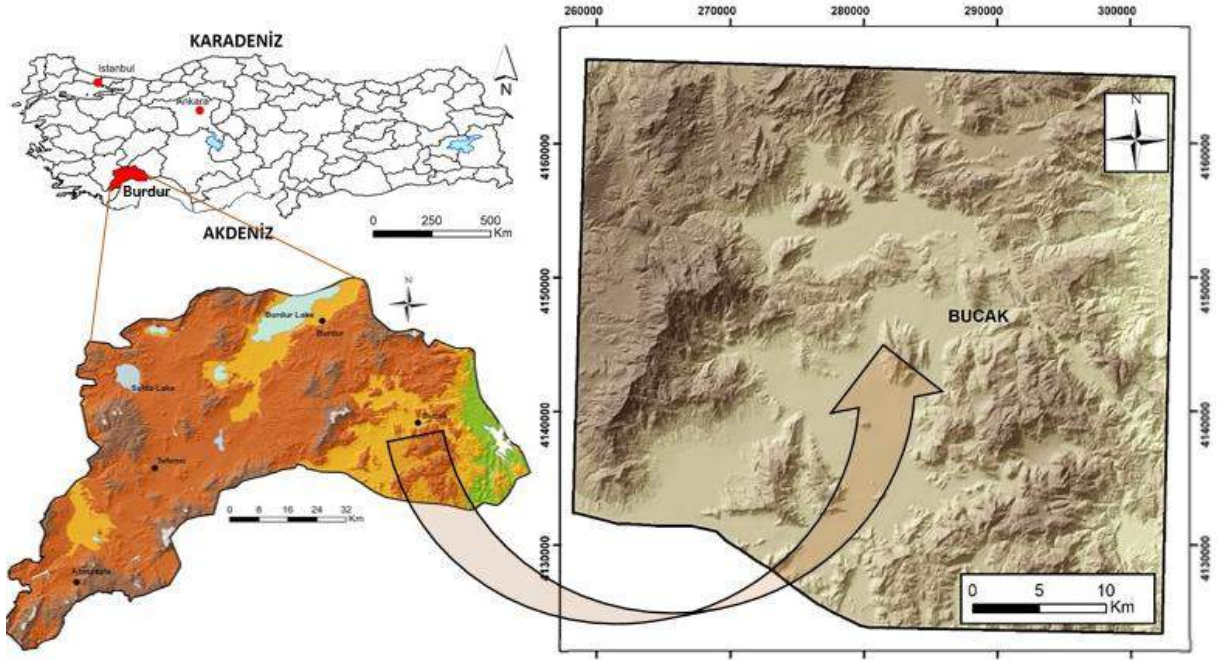
AHY olarak tanımlanan yöntem seçim kriterlerinin kendi aralarındaki ağırlık derecelerinin hesap edilmesinde kullanılmaktadır. Saaty (1980) tarafından geliştirilen AHY yöntemi karmaşık çok kriterli karar süreçleri için geliştirilmiş etkili bir araçtır. AHY yöntemi; seçim kriterlerinin belirlenmesi ve ağırlıklandırılması, toplanan verilerin analiz edilmesi ve karar alma sürecinin hızlandırılması konusunda yardımcıdır. Literatürde, AHY katı atık yeri seçimi için kabul edilen kriterlerin ağırlıklarını değerlendirmek için sıkça kullanılmıştır. Birçok bilim insanı tarafından, mevcut alternatifler arasından en uygun alanları seçmek için CBS ve AHY kombinasyonu kullanılmıştır (Alkaradaghi ve ark., 2019; Abdullah ve Adawiyah, 2014; Baiocchi ve ark., 2014; Afzali ve ark., 2014; Chabuk ve ark., 2017).

Bu makalenin amacı, AHY ve CBS kullanarak MAS seçiminde en uygun yeri belirlemektir. Bunun için atık yer seçimini etkileyeceği düşünülen on farklı kriter kullanılmıştır

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı, Türkiye'nin güney batısında, Akdeniz Bölgesi'ndeki Burdur ilinin güneyinde yer alan yaklaşık 684,41 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kaplayan Bucak Havzası sınırları içerisindedir (Şekil 1). Bucak Havzası, Türkiye'nin önemli karst bölgelerinden biri olan Toros Karst Kuşağının Batı Toroslar kesiminde, Isparta Büklümü içerisinde yer almaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanı yerbulduru haritası

## 2.2. Mermer Atıkları ve Mevzuat

Bu çalışmada, Bucak ilçesi çalışma alanı sınırları içerisinde bulunan mermer ocak sahaları ve fabrikalarından çıkan mermer atıklarının ilçe sınırları içerisinde depolanabileceği yerler, CBS ve AHY yöntemleri kullanılarak analiz edilmiş ve uygun yer seçimi için önerilerde bulunulmuştur. Öncelikli olarak arazide 22 adet ocak sahası incelenmiş, bu sahalarda ortaya çıkan pasa ve atık mermerler yerinde gözlemlenmiştir. İkinci aşamada ise ocaktan çıkan mermerlerin işlendiği 41 mermer fabrikasının bulunduğu organize sanayi bölgesine gidilmiş ve üretim aşamaları görüntülenmiştir. Fabrikalarda işlenen blok mermerlerden büyük oranlarda toz ve paledyen atık malzeme ortaya çıkmaktadır (TMMOB, 2014; Soyaslan ve ark., 2011).

Mermer atık sahalarının belirlenmesi için depolama sahası ile ilgili aranan kriterler ile dikkat edilmesi gereken konular Katı Atık Proje Genelgesi (KAG, 2004), Katı Atık Uygulama Projesi Genelgesi (KAUPG, 2011), Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (KAKY, 1991), Maden Atıkları Yönetmeliği (MAY, 2015), Avrupa Birliği Katı Atık Kabul Kriterleri (EC, 2009), Çevre Koruma Kurumu (EPA) (EPA, 2016), Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı (USEPA, 2003) ve önceki çalışmalar (Beltran ve ark., 2010; Gorsevski ve ark., 2011; Kirimi ve Waithaka, 2014; Khan ve Samadder, 2015; Yıldırım ve Güler, 2016; Güler ve Yomralıoğlu, 2017; Abdulhasan ve ark., 2019; Karadağ, 2019) dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu kriterler; akarsu, yol ağı, yerleşim yerleri, eğim, su depoları, kuyular, mermer ocak sahaları, mermer fabrikaları, arazi kullanımı ve jeoloji olmak üzere 10 kriterden oluşmaktadır. Çalışma alanı içerisinde bulunan 12 adet 1/25000 ölçekli topografik harita sayısallaştırılmış ve akarsu ağı, SYM, kuyu lokasyonları, eğim, su depoları, yerleşim yerleri bu topografik haritalardan elde edilmiştir. Jeoloji haritası ise MTA' dan elde edilen 1/100000 ölçekli haritalardan sayısallaştırılmıştır. Elde edilen tüm katmanlar, ED1950 UTM Zone 36 projeksiyon sisteminde kaydedilmiştir.

## 2.3. CBS ve AHY Yöntemi

Mekansal verilerin görüntülenmesi ve analizi için ArcGIS 10 yazılımı kullanılmıştır. Ayrıca verilerin sonuç analizine hazır hale gelebilmesi için Öklit mesafe analizi, yeniden sınıflandırma, raster dönüşümü, topoğrafik haritaların sayısallaştırılarak 10\*10 hücre büyüklüğüne sahip SYM haritasının elde edilmesi, bu haritadan eğim ve kabartma haritalarının üretilmesi ve ağırlıklı çakıştırma analizi gibi birçok işlem CBS ortamında gerçekleştirilmiştir. Sonuç haritasının üretilmesi için yapılan ağırlıklı çakıştırma analizinde ise katmanların kendi aralarındaki ağırlık değerlerinin belirlenmesinde ikili karşılaştırma yönteminden elde edilen değerler kullanılmıştır.

Elde edilen tematik haritaların ardından, seçilen 10 adet parametrenin kendi aralarındaki ağırlık derecelerinin hesap edilebilmesi için Saaty (1980) tarafından geliştirilen AHY kullanılmıştır. Bu amaçla, 10 adet kriter için ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuş ve kriterler arasında 1/9 ila 9 arası bir ölçek kullanılarak değerlendirme yapılmıştır.

Elde edilen her kritere, kendi içerisinde 1' den 6' ya kadar uygunluk puanları verilerek değerlendirilmiştir. (Tablo 1). "1" puan verilen yerler uygun olmayan depolama alanlarını, "6" puan verilen yerler ise en uygun alanları göstermektedir (Şengün, Siler, & Engin, 2018). Uygunluk derecesinin göreceli olması, ortaya çıkan modelinde kısmen göreceli olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle sonuç, kullanılan yöntem ve kriterlere bağlı olarak çeşitlilik gösterebilmektedir (Küçükönder ve Karabulut, 2007; Sancar, 2000).

Tablo 1. Ağırlıklı Çakıştırma Kullanılan Uygunluk Değerleri

Ağırlık Puanları	Uygunluk Değerleri
6	En uygun
5	Çok uygun
4	Uygun
3	Orta uygun
2	Biraz uygun
1	Uygun değil

Yapılan çalışmada “ağırlıklandırılmış doğrusal kombinasyon” (Weighted Linear Combination) yöntemi kullanılarak uygun alanlar tespit edilmiştir. Bu sistem, çoklu kriterler kullanan konularda nihai değerlerin hesaplanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Randazzo ve ark., 2018; Şener, 2004; Al-Hanbali ve ark., 2011). Bu sistemin matematiksel formül olarak gösterimi ise aşağıda belirtilen eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır (Yoon ve Hwang, 1995).

$$V_i = \sum_{j=1}^n w_j * v_{ij}$$

Vi: Alan için uygunluk indeksi,  
 wj: Kriterlere verilen ağırlığın göreceli önemi,  
 vij: j verisine karşılık gelen i' inci alternatif skoru.

Faktör ağırlıklarının hesaplanmasında analitik hiyerarşi yöntemi tercih edilmiştir. AHY yöntemi temel olarak, çok boyutlu önlemleri tek bir öncelik ölçeğinde birleştirerek, çeşitli karar seçeneklerine öncelik tanıma ve / veya nitel ve nicel değerlendirmelerle karakterize edilen kriterleri ilişkilendirmeye izin verir (Saaty, 1980). Bu işlem karşılıklı ikili karşılaştırma (pairwise comparison) yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Normalize edilmiş ağırlık değeri; karar alma aşamasında kullanılan farklı kriterlerin dereceli önemlerinin veya öncelik değerlerinin belirlenmesine dayanmaktadır (Yılmaz, 2005). Kriterlerin ikili karşılaştırmaları yapılarak bulunan tablo yer seçimini etkileyen faktörlerin dereceli önemlerini karşılaştırmak amacıyla kullanılmaktadır. Karşılaştırma 1/9' ile (en düşük öneme sahip) 9 (en fazla öneme sahip) arasında değişen devamlı bir ölçek kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Siddiqui ve ark., 1996; Alanbari ve ark., 2014; Vasiljevic ve ark., 2012). (Tablo 2).

Tablo 2. İkili karşılaştırma işleminde kullanılan ölçek değerleri (Saaty, 1980)

Önem yoğunluğu	Önem derecesi
1	Eşit önemli
3	Orta önemli
5	Önemli
7	Çok önemli
9	Oldukça önemli
2,4,6,8	İki yakın karar arasındaki ara değerler

Her bir faktörün önemi, çalışma alanının yerel durumuna bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Bu nedenle, göreceli önem düzeyinin seçimi, çalışma alanının yerel koşullarına uygun olmalıdır. Bu ikili karşılaştırma, her bir faktörün katkısının bağımsız bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlayarak karar alma sürecini kolaylaştırmıştır (Rezaei-Moghaddam ve Karami, 2008). Kullanılan bu yöntem sayesinde elde edilen sonuç haritası, karar vericilere “en uygun” ile “uygun değil” arasında değişen çeşitli seçenekler sunabilmektedir.

İkili karşılaştırma yönteminin güçlü yönlerinden biri, verilen puanlama neticesinde tutarlılık indeksi (CI) ile derecelendirme tutarsızlıklarının belirlenebilmesidir.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

CI: Tutarlılık indeksi, λmax: maksimum özdeğer (eigen) ve n: karşılaştırma matrisinin sıralamasını verir (Ying ve ark., 2007). Matris değerlerinin oluşturulması ile maksimum özdeğer (λmax) 11,1560 olarak hesaplanmıştır. Sonrasında CI, Rastgele endeksi (RI:Random index) olarak tanımlanan standart düzeltme değerine bölünerek Tutarlılık oranı (CR: Consistency rate) değeri elde edilir.

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

CR sayısının 0.1' den küçük olması, oluşturulan matrisin tutarlı olduğunu göstermektedir. Karşılaştırmada 10 adet kriter kullanıldığı için RI: 1,49 olarak alınmıştır (Saaty, 1980).



### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

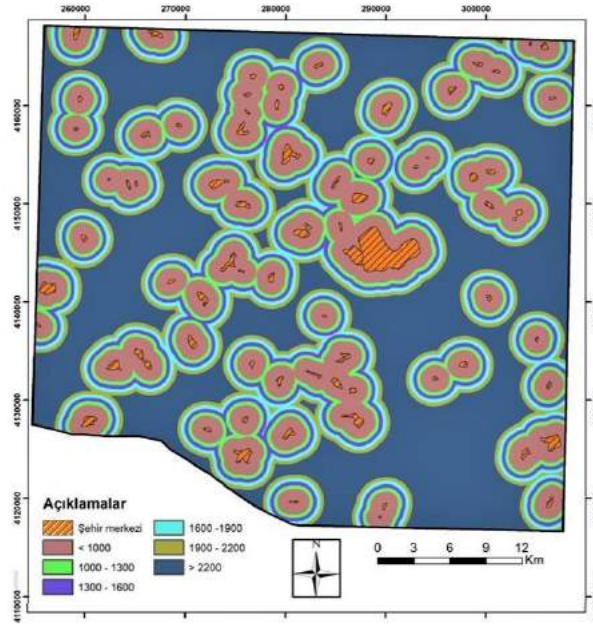
#### 3.1. Yer Seçiminde Kullanılan Kriterler

##### 3.1.1. Yerleşim Birimleri

Çalışma alanı içerisinde en büyük yerleşim merkezi Bucak ilçesidir. Bucak Kaymakamlığı 2016 yılı nüfus sayımı verilerine göre 44.086 ilçe merkezi; 20.821 kır kesiminde olmak üzere toplam nüfusu 64.910' dır (URL-1, 2019). Son 45 yıl içerisinde ilçe nüfusunun yaklaşık 2 kat arttığı görülmektedir. Çalışma alanı içerisinde ise başta Bucak ilçe merkezi olmak üzere toplamda 75 ilçe, köy, ve mahalle mevcuttur ve bu yerleşim alanları, çalışma sınırı içerisinde homojen bir dağılım göstermektedir. Yerleşim sahalarına yakın kurulan katı atık depolama alanları gürültü, estetik, hijyen, toz ve koku açısından olumsuz etkiler yaratır. Mermer atıkları açısından ise tek fark, atıkların herhangi bir koku yaymamasıdır. Yapılan çalışmalarda, depolama alanının yerleşim yerine uzaklığı konusunda farklı mesafe aralıklarının kullanıldığı görülmüştür. Allen, ve diğerlerine göre bir depolama sahası yerleşim yerlerinden en az 5000 metre ve müstakil evlerden ise en az 500 metre uzakta olmalıdır (Allen, 2002; Allen ve ark., 2002). Siddiqui ve ark., (1966) göre ise 10 ve daha fazla evden oluşan bir yerleşim yerine en yakın depolama alanı, 0.4 kilometreden daha yakın olmamalıdır (Siddiqui ve ark., 1996). Önerilen tüm emniyet mesafeleri göz önünde bulundurularak, Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nde belirtilen "depolama alanlarının, en yakın yerleşim bölgesine uzaklığı 1000 metreden az olan yerlerde inşa edilemez" ifadesi dikkate alınarak minimum mesafe değeri olarak 1000 metre kabul edilmiştir. Bu mesafe yerleşim bölgeleri çevresinde tampon bölgeler oluşturmak için kullanılmıştır. Depolama sahaları için kesinlikle uygun olmayan alanlar 1 puan ve en uygun alanlar 6 puan verilerek uygunluk sınıflarına ayrılmışlardır (Tablo 3; Şekil 1).

Tablo 3. Yerleşim alanlarına olan mesafeler ve ağırlık değerleri

Mesafe (metre)	Ağırlık Değeri	Açıklamalar
<1000	1	Uygun değil
1000-1300	2	Biraz Uygun
1300-1600	3	Orta Uygun
1600-1900	4	Uygun
1900-2200	5	Çok Uygun
>2200	6	En uygun



Şekil 1. Çalışma alanındaki yerleşim alanlarının ağırlık değeri haritası

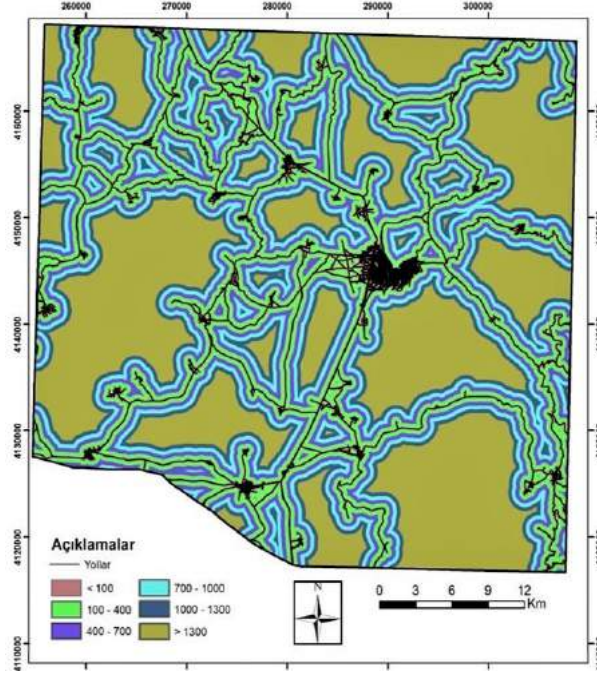
##### 3.1.2. Yollar

Çalışma alanı içerisinde Burdur ve Antalya illerini bağlayan devlet karayolu en önemli ulaşım hattını oluşturmaktadır. Devlet yollarının haricinde, sokak, cadde, ana arter ve köy yolları da sayısallaştırılmıştır. Depolama alanı belirlenmesi için, en iyi mesafenin ne olması gerektiğine dair bir fikir birliği yoktur. Depolama alanının yollardan 1 km' lik bir tampon içinde yer alması gerektiğini ileri süren çalışmalar olduğu gibi (Baban ve Flannagan, 1998; Chang ve ark., 2008; Delgado ve ark., 2008) depolama sahası bağlantı yollarının inşa edilmesinin maliyetinden kaçınmak için mevcut yol ağlarından çok uzağa yerleştirilmemesini belirten çalışmalarda mevcuttur (Lin ve Kao, 1999). Lunkapis ve ark., (2002) ise; 100 metreden daha yakın yol güzergahlarına depolama sahası inşa edilmemesi gerektiğini vurgulamışlardır (Lunkapis ve ark., 2002). Bu çalışmada ise Katı Atık Yönetmeliğinde belirtildiği şekilde 100 metreden daha yakın mesafeler, uygun olmayan alanlar olarak belirtilerek 1 puan verilmiş; 1000–1300 metre arasındaki mesafenin ise ekonomik koşullar dikkate alınarak en uygun değere sahip olduğu 6 puan verilmiş ve haritalaması yapılmıştır (Tablo 4; Şekil 2).



Tablo 4. Yollara olan mesafeler ve ağırlık değerleri

Mesafe (metre)	Ağırlık Değeri	Açıklamalar
<100	1	Uygun değil
100-400	2	Biraz Uygun
400-700	3	Orta Uygun
700-1000	4	Uygun
1000-1300	6	En Uygun
>1300	5	Çok uygun



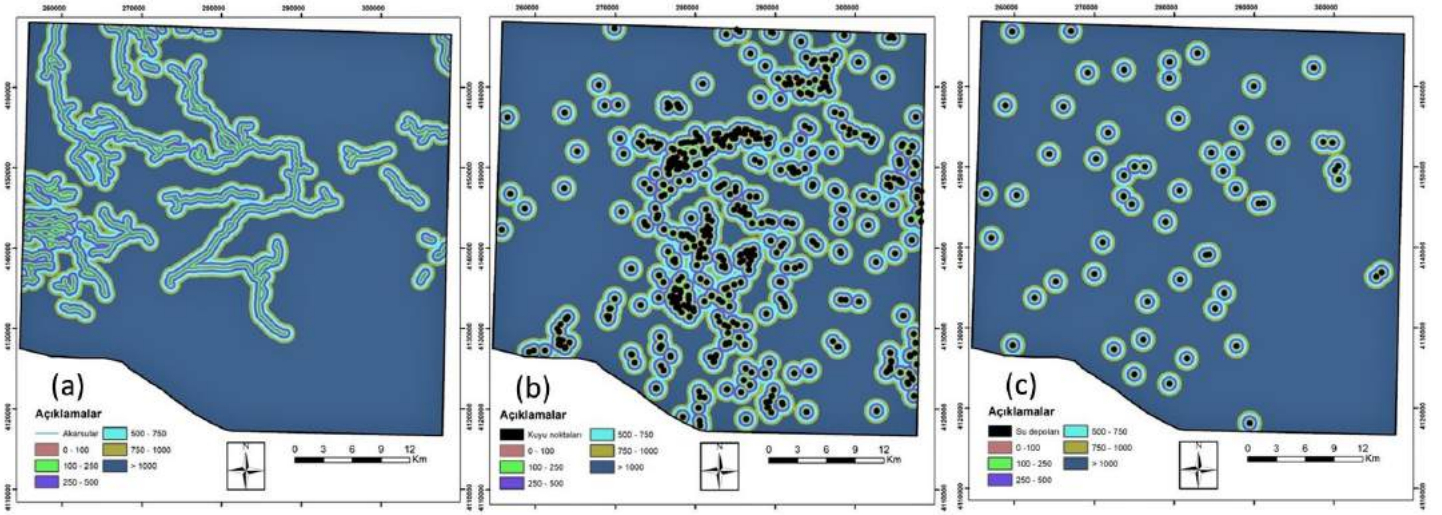
Şekil 2. Çalışma alanındaki yolların ağırlık değerleri haritası

### 3.1.3. Akarsular, Kuyular ve Su Depoları

Depolama alanları; su kaynaklarını, sızıntı ve yüzeysel akış yoluyla kirlenme potansiyelleri oldukça yüksektir. Bu nedenle hidrolojik özelliğe sahip alanlara yakın olmamalıdır (Zulu ve Jerie, 2017). Bucak ilçesi ve civarındaki yüzey suyunun çoğu, kış mevsiminde şiddetli yağışlar sırasında meydana gelen akarsular şeklindedir. Bölgeye ait akarsular, kuyular ve su depolarının konumları 1/25000 ölçekli topografik haritalar ve saha gözlemleri kullanılarak belirlenmiş ve sayısallaştırma işlemi yapılmıştır. Yapılan literatür incelemesinde, mesafe katmanlarının oluşturulmasında farklı kriterlerin uygulandığı görülmüştür. Avrupa Birliği yönetmeliği, önemli su kütlelerinin çevresinde 500 m tampon zonun korunması gerektiğini belirtmektedir (Kontos ve ark., 2003). Katı Atık Yönetmeliğine göre ise depo, içme suyu ve yüzeysel su kaynaklarının korunması amacı ile bu bölgelere depolama alanı oluşturulamayacağı ve tampon bölgenin 100 m' de daha yakın olamayacağı belirtilmiştir (Küçükönder ve Karabulut, 2007). Mahini ve Gholamalifard (2006) ise yüzey sularına olan mesafeyi 200 ila 1000 metre aralığında sınırlandırmışlardır (Mahini ve Gholamalifard, 2006). Bu çalışmada ise, akarsular, kuyular ve su depoları için ayrı ayrı katmanlar oluşturulmuş ancak her 3 katman için aynı mesafe ölçüleri kullanılmıştır (Tablo 5). Buna göre Öklit mesafe modülü kullanılarak, su kaynaklarına 100 metre mesafeye kadar olan alanlar uygun olmayan, 1000 metreden daha uzak alanlar ise en uygun alanlar olacak şekilde mesafe analizi uygulanmıştır (Şekil 3).

Tablo 5: Akarsu, kuyular ve su depolarına olan mesafeler ve ağırlık değerleri

Mesafe (metre)	Ağırlık Değeri	Açıklamalar
<100	1	Uygun değil
100-250	2	Biraz Uygun
250-500	3	Orta Uygun
500-750	4	Uygun
750-1000	5	Çok Uygun
>1000	6	En uygun



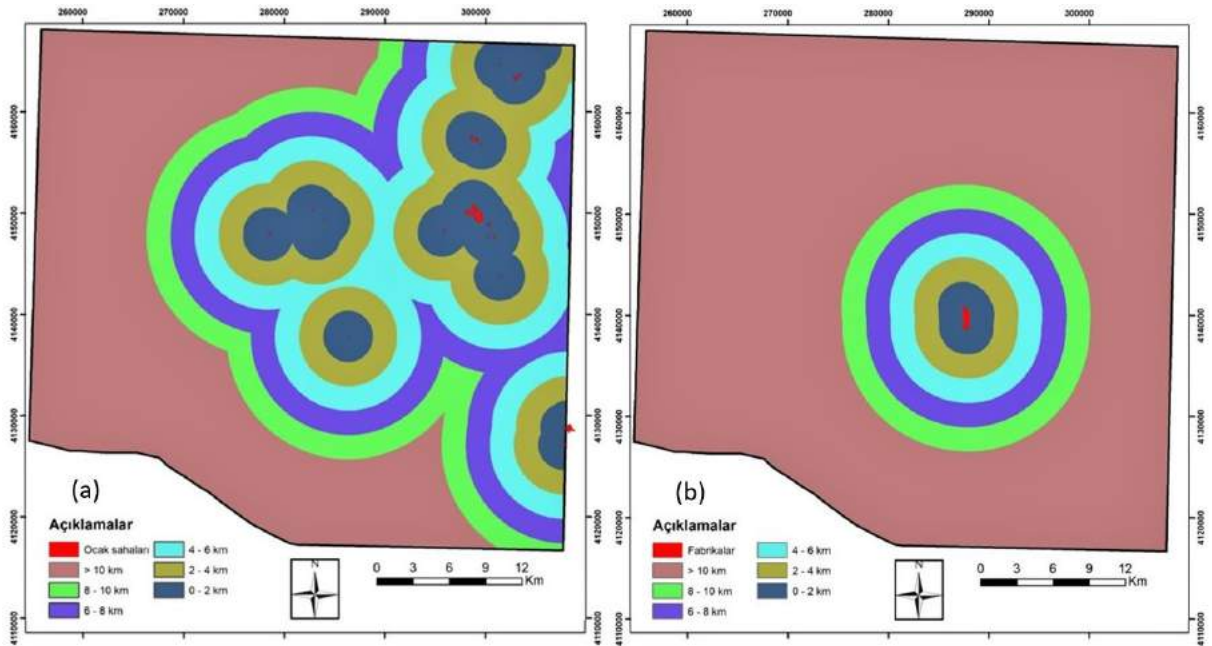
Şekil 3. Çalışma alanındaki akarsu (a), kuyular (b) ve su depolarının (c) ağırlık değerleri haritası

Tablo 6. Ocak sahaları ve fabrikalara olan mesafeler ve ağırlık değerleri

Mesafe (kilometre)	Ağırlık Değeri	Açıklamalar
>10	1	Uygun değil
8-10	2	Biraz Uygun
6-8	3	Orta Uygun
4-6	4	Uygun
2-4	5	Çok Uygun
0-2	6	En uygun

### 3.1.4. Ocak Sahaları ve Fabrikalar

Çalışma alanı içerisinde bulunan fabrikaların hemen hepsi, Bucak organize sanayi bölgesi içerisinde yer almaktadır. Ocakların ise daha çok sahanın orta ve kuzeydoğu yönünde kümelendiği görülmektedir. Dimopoulou ve ark., (2011), Yunanistan'ın Drama bölgesindeki mermer atıkları için yapmış oldukları çalışmada 10 kilometreden daha uzak mesafelerde atık alanlarının belirlenmesini işletme maliyetleri için uygun olmadığını belirtmişlerdir (Dimopoulou ve ark., 2011). Çalışma sahasının benzer özellik ve büyüklüğü dikkate alınarak, bu çalışmada ocak sahaları ve fabrikalar için Tablo 6'daki mesafeler ve ağırlık değerleri dikkate alınmış ve haritalandırılmıştır (Şekil 4).



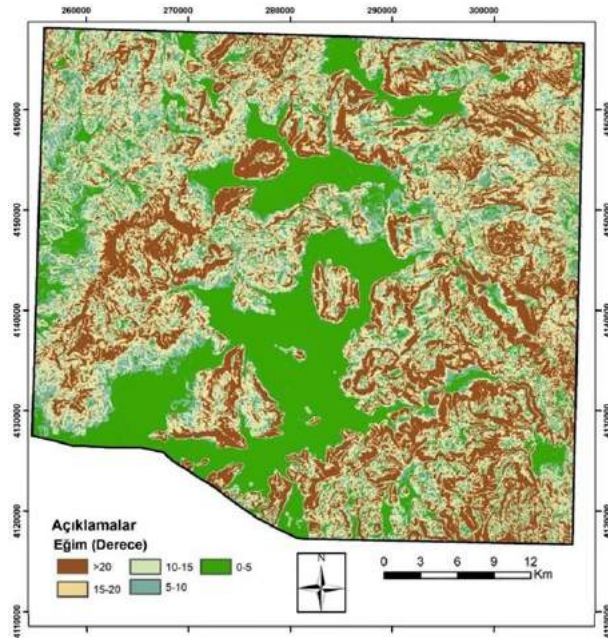
Şekil 4. Çalışma alanındaki ocak sahaları (a) ve fabrikaların (b) tampon bölgeleri haritası

### 3.1.5. Eğim

Arazinin eğimi, depolama alanlarının belirlenmesinde temel kriterlerden biridir. Yüksek eğime sahip alanlar depolama sahası için uygun değildir (Randazzo ve ark., 2018). Lin ve Kao (1998; 1999) yapmış oldukları çalışmalarda %12’ den daha düşük eğime sahip sahaların depolama için uygun olduğunu belirtirken, Sarptaş ve Alparslan (2008), eğimin en fazla %15-20 arasında olması gerektiğini vurgulamışlardır. Çalışma sahası eğim haritası, 10\*10 çözünürlüğe sahip SYM haritası kullanılarak elde edilmiştir. Sahada en düşük rakım 315 metre, en yüksek rakım ise 2318 metredir ve oldukça engebeli bir morfolojiye sahiptir. Dik eğime sahip alanlar ise genellikle kayalık alanlarda gözlemlenmektedir. Arazinin genel durumu ve literatür incelemeleri dikkate alınarak, eğim sınıflamaları ve ağırlık değerleri 5 sınıfa ayrılarak tablo 7’deki gibi oluşturulmuş ve haritalandırılması yapılmıştır (Şekil 5).

Tablo 7. Eğim sınıfları ve ağırlık değerleri

Eğim sınıfları (derece)	Ağırlık Değeri	Açıklamalar
>20	1	Uygun değil
15-20	3	Orta Uygun
10-15	4	Uygun
5-10	5	Çok Uygun
0-5	6	En Uygun



Şekil 5. Çalışma alanının eğim sınıfları ağırlık değeri haritası

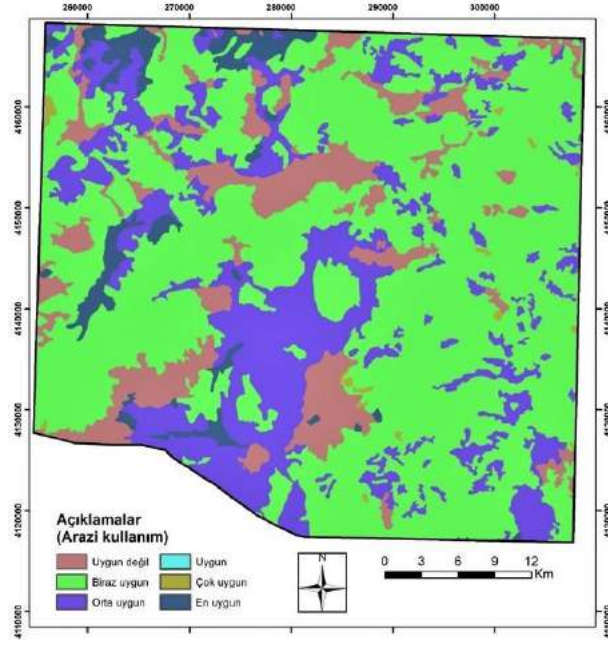
### 3.1.6. Arazi Kullanımı

Arazi kullanım haritası Burdur Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı’ndan (AFAD) elde edilerek sayısallaştırılmış ve raster veri dönüşümü uygulanmıştır. Çalışma alanı içerisinde 18 arazi kullanım tipi sınıflandırılmıştır. Çalılık veya otların hakim olduğu alanlar, yoğun bitkiler ve zehirli böcekler gibi doğal rahatsızlıkların varlığından dolayı insan yerleşimi için uygun değildir. Nadasa bırakılan topraklar ve çalılık arazileri insan faaliyetlerinden uzak olduğundan, depolama alanları için en uygun bölgeler olarak kabul edilirler (Kapılan ve Elangovan, 2018). Bataklık alanları, endüstriyel ve ticari birimler, yerleşim yerleri, şehir yapıları gibi alanlar ise depolama alanına uygun olmayan yerlerdir. Tarımsal faaliyetlerin yürütüldüğü araziler yine döküm sahası olarak tercih edilmemektedir (Kontos ve ark., 2005). Sahada bulunan 18 ayrı arazi kullanım tipine göre, literatür taramaları da göz önüne alınarak Tablo 8’deki ağırlık değerleri verilerek haritalandırılması yapılmıştır (Şekil 6).



Tablo 8. Arazi kullanımı ve ağırlık değerleri

Arazi kullanımı	Ağırlık Değeri	Açıklamalar
Şehir yapısı	1	Uygun değil
Bataklık	1	Uygun değil
Endüstriyel ve ticari birimler	1	Uygun değil
Maden çıkarım sahaları	1	Uygun değil
Meyva bahçeleri	1	Uygun değil
Tarım alanları	1	Uygun değil
Sklerofil bitki örtüsü	2	Biraz Uygun
Karışık ormanlar	2	Biraz Uygun
İğne yapraklı ormanlar	2	Biraz Uygun
Geniş yapraklı ormanlar	2	Biraz Uygun
Bitki değişim alanları	2	Biraz Uygun
Doğal bitki örtüsü ile bulunan tarım alanları	2	Biraz Uygun
Sürekli sulanan alanlar	2	Biraz Uygun
Seyrek bitki alanları	3	Orta Uygun
Sulanmayan ekilebilir alanlar	3	Orta Uygun
Doğal çayırılık	4	Uygun
Meralar	5	Çok Uygun
Çıplak kayalıklar	6	En Uygun



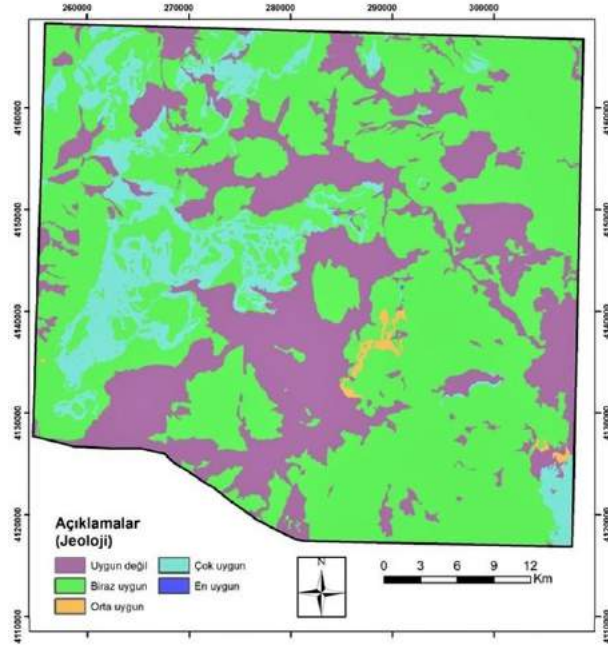
Şekil 6. Çalışma alanının arazi kullanımı ağırlık değeri haritası

### 3.1.7. Jeoloji

Çalışma alanına ait jeoloji haritası Burdur AFAD' dan elde edilerek sayısallaştırılmış ve raster veri dönüşüm işlemi gerçekleştirilmiştir. Depolama alanı için belirlenecek bölgenin, litolojik açıdan geçirimsiz olması aranan en önemli özelliktir. Bu sebeple, birimlere ağırlık değerleri verilirken kayaların geçirimsizlik düzeyleri ile kırık çatlak özellikleri ön planda tutulmuştur. Saha içerisinde 16 litoloji türü ayırt edilmiş ve her birine ait ağırlık değerleri Tablo 9'da verilerek haritalandırılması yapılmıştır (Şekil 7).

Tablo 9. Jeolojik birimler ve ağırlık değerleri

Jeolojik birimler	Ağırlık Değeri	Açıklamalar
Alüvyon	1	Uygun değil
Alüvyon yelpazesi	1	Uygun değil
Eski alüvyon	1	Uygun değil
Traverten	1	Uygun değil
Yamaç molozu	1	Uygun değil
Kireçtaşı	2	Biraz Uygun
Kumtaşı-Çamurtaşı	2	Biraz Uygun
Kumtaşı-Çamurtaşı-Kireçtaşı	2	Biraz Uygun
Vulkanit-Çökel kaya	2	Biraz Uygun
Çakıltası	2	Biraz Uygun
Çakıltası-Kumtaşı-Çamurtaşı	2	Biraz Uygun
Olistostrom	3	Orta Uygun
Dolomit	5	Çok Uygun
Melanj	5	Çok Uygun
Çört	5	Çok Uygun
Traki bazalt	6	En Uygun



Şekil 7. Çalışma alanındaki jeolojik birimlere ait ağırlık değerleri haritası

### 3.2. İkili Karşılaştırma Yöntemi ve Ağırlıklı Çalıştırma Analizi

AHY yöntemi kullanılarak 10 farklı kriter için ikili karşılaştırma matrisi ve kriterlerin kendi içinde 1/9-9 arasında ölçekle yapılan değerlendirme sonucunda elde edilen değerler tablo 10'da verilmiştir. Tabloda verilen değerlerden; 1 farksızlık veya eşit öneme sahip, 9 aşırı tercih veya mutlak önem, 1/9 ise kriterin önemsiz olduğunu ifade etmektedir.

Tablo 10. İkili karşılaştırma matrisi ve ağırlık değerleri

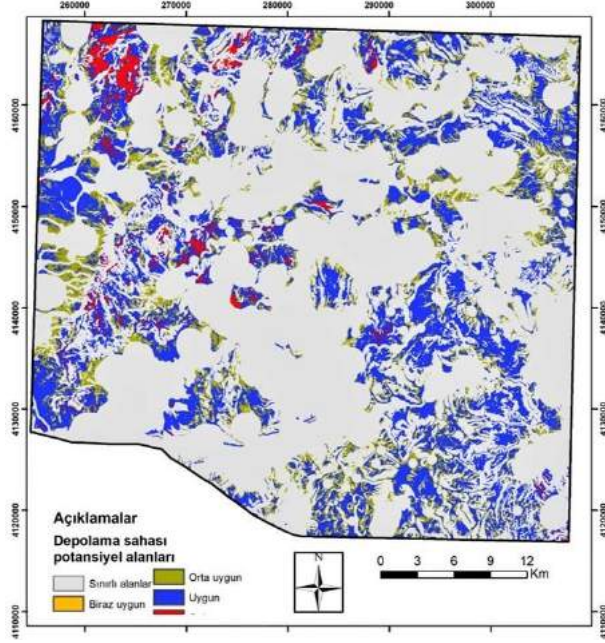
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Ağırlık Değeri
<b>Akarsu (A)</b>	1	7	5	0.333	3	2	5	5	1	0.333	0,108
<b>Yol (B)</b>		1	0.333	0.111	0.143	0.143	1	1	0.143	0.143	0,024
<b>Yerleşim yeri (C)</b>			1	0.200	1	1	4	4	0.200	0.200	0,050
<b>Eğim (D)</b>				1	4	4	7	7	3	1	0,260
<b>Su deposu (E)</b>					1	1	5	5	0.200	0.200	0,058
<b>Kuyu (F)</b>						1	5	5	1	0.333	0,077
<b>Ocak yerleri (G)</b>							1	1	0.200	0.200	0,031
<b>Fabrika (H)</b>								1	0.200	0.200	0,031
<b>Arazi kullanımı (I)</b>									1	0.333	0,108
<b>Jeoloji (J)</b>										1	0,253



İkili karşılaştırma yönteminde tutarlılık indeksi (CI) değeri 0,1284 olarak hesaplanmıştır. Bunun yanında tutarlılık oranı ise (CR); tutarlılık indeksi (CI) ve ortalama rastgele tutarlılık indeksi (RI) sayıları oranlanarak 0,085 olarak hesaplanmıştır. CR sayısının 0.1' den küçük olması, oluşturulan matrisin tutarlı olduğunu göstermektedir.

### 3.3. Atık Depolama Alanlarını Belirlenmesi

Her kriterin kendi içerisinde sınıflandırılıp 1-6 arası uygunluk değeri verilmesinin ardından, tüm kriterler bu defa kendi arasında ikili karşılaştırma yöntemi kullanılarak ağırlık değerleri belirlenmiş ve son aşamada depolama alanı sonuç haritalarının oluşturulması için ağırlıklı çakıştırma analizi uygulanmıştır. Çakıştırma analizi yapılmadan önce, jeoloji, arazi kullanımı, kuyu, su deposu, yerleşim yeri, yol, akarsu ve eğim kriterleri için uygunluk değeri olarak "1" alan yerler, sınırlı alanlar olarak işaretlenmiş ve analiz işleminin dışında bırakılmışlardır (Şekil 8).



Şekil 8. Mermer atık depolama alanı potansiyel haritası

Elde edilen sonuç haritasına göre, çalışma sahasının %68' i, depolama alanı için uygun değildir. Analiz işlemi sonunda, "en uygun" şartlarını da sağlayan bir bölge görülmemektedir. Uygun olarak nitelendirilebilecek alanın oranı %32 iken, "çok uygun" alan olarak bu oran %2.3 olarak belirlenmiştir ve sahanın orta ve kuzeybatı kesimlerinde yoğunlaştığı görülmüştür.

## 4. Sonuç

Sürdürülebilir bir çevre için, mermer atıklarının depolanacağı alanların seçiminde doğru kararların verilmesi önemlidir. Geleneksel yöntemler kullanılarak yapılan atık alanı belirleme çalışmaları, oldukça pahalı ve zaman alıcı bir süreçtir. Yapılan çalışmada, CBS ve AHY yöntemi birlikte kullanılarak Bucak ilçesi ve civarında en uygun mermer atık alanlarının belirlenmesine çalışılmıştır. Bu amaçla, yerleşim birimleri, yollar, akarsular, kuyular, su depoları, ocak sahaları, fabrikalar, eğim, arazi kullanımı ve jeoloji olmak üzere toplam 10 kriter değerlendirilmede kullanılmıştır. Kriterlerin belirlenmesi ve değerlendirilmesinde ulusal ve uluslararası yönetmelikler ile önceki çalışmalar dikkate alınmıştır. Kriterlerin kendi aralarındaki ağırlık değerlerinin belirlenmesinde AHY yöntemi kullanılmış ve eğim ile jeoloji kriterleri en yüksek; yol ise en düşük ağırlık değerlerini almışlardır. Tüm kriterler raster katmanına dönüştürüldükten sonra yeniden sınıflandırma işlemi uygulanarak 1-6 arasında değişen sınıf aralıklarında değerler atanmıştır. Kriterler kendi aralarında ikili karşılaştırma yöntemi uygulanarak birbirlerine göre önem dereceleri belirlenmiş ve en yüksek puanı alan jeoloji parametresinin en önemli kriter olduğu sonucuna varılmıştır.

Tüm katmanların CBS ortamında yapılan ağırlıklı çakıştırma analizi sonucunda ise çalışma sahasının depolama açısından %68'lik oranda uygun olmadığı, çok uygun alanların ise %2.3 olduğu belirlenmiştir. Alan açısından bakıldığında ise bu oran, çalışma sahası içerisinde 26.9 km<sup>2</sup>'lik bir bölgeye karşılık gelmektedir. En uygun şartları sağlayan bir bölge ise belirlenememiştir.

CBS ve AHY yöntemlerinin birlikte kullanılarak oluşturulan bu çalışma, Bucak ilçesi mermer atık alanlarının belirlenmesinde bir ön çalışma niteliğindedir. Karar alıcı makamlar ve yerel yönetimlere, depolama alanı yer seçimi çalışmalarında sürecin hızlandırılması, maliyetin düşürülmesi ve fikir edinilmesi açısından yardımcı olunması, çalışmanın amacını oluşturur. Depolama alanının yapılacağı yerin seçiminde, son kararın verilmesi için daha ayrıntılı saha çalışmalarının yapılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

## Kaynakça

- Abdulhasan, M. J., Hanafiah, M. M., Satchet, M. A., Abdulaali, H. S., Toriman, M. E., & Al-Raad, A. A. (2019). Combining GIS, fuzzy logic and AHP models for solid waste disposal site selection in Nasiriyah, Iraq. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(3), 6701-6722.
- Abdullah, L., & Adawiyah, C. W. (2014). Simple Additive Weighting Methods of Multi criteria Decision Making and Applications: A Decade Review. *International Journal of Information Processing and Management*(5), 39-49.
- Afzali, A., Sabri, S., Rashid, M., Samani, J. M., & Ludin, A. N. (2014). Inter-Municipal landfill site selection using Analytic Network Process. *Water Resources Management*(28), 2179-2194.
- Alanbari, M. A., Al-Ansari, N., & Jasim, H. K. (2014). GIS and multicriteria decision analysis for landfill site selection in Al-Hashimiyah Qadaa. *Natural Science*(6), 282-304.
- Al-Hanbali, A., Alsaadeh, B., & Kondoh, A. (2011). Using GIS-based weighted linear combination analysis and remote sensing techniques to select optimum solid waste disposal sites within Mafraq City, Jordan. *Journal of Geographic Information System*(3), 267-278.
- Alkaradaghi, K., Ali, S. S., Al-Ansari, N., Laue, J., & Chabuk, A. (2019). Landfill site selection using MCDM methods and GIS in the Sulaimaniyah Governorate, Iraq. *Sustainability*, 1-22.
- Allen, A. R. (2002). A Cost Effective Landfill Strategy for Developing Countries. *Proceedings of 9th Congress of the International Association for Engineering Geology and the Environment*, (pp. 136-147). Durban.
- Allen, A., Brito, G., Caetano, P., Costa, C., Cummins, V., Donnelly, J., . . . Vendas, D. (2002). Procedure for the Location of Landfill Sites Using GIS Model. *9th Congress of the International Association of Engineering Geology and the Environment*, (p. 100). Durban.
- Baban, S. J., & Flannagan, J. (1998). Developing and implementing GIS-assisted constraints criteria for planning landfill sites in the UK. *Planning Practice and Research*, 13(2), 139-151. doi:10.1080/02697459816157
- Baiocchi, V., Lelo, K., Poletti, A., & Pomi, R. (2014). Land suitability for waste disposal in metropolitan areas. *Waste Management & Research*(32), 707-716.
- Beltran, P. A., Fernando, J. P., Garcia, F. G., & Agullo, A. P. (2010). An analytic network process approach for siting a municipal solid waste plant in the metropolitan area of Valencia (Spain). *Journal of Environmental Management*, 91(5), 1071-1086.
- Chabuk, A. J., Al-Ansari, N., Hussain, H. M., Knutsson, S., & Pusch, R. (2017). GIS-based assessment of combined AHP and SAW methods for selecting suitable sites for landfill in Al-Musayyab Qadhaa, Babylon, Iraq. *Environmental Earth Sciences*(76), 1-12.
- Chang, N. B., Parvathinathan, G., & Breeden, J. B. (2008). Combining GIS with fuzzy multicriteria decision making for landfill siting in a Fast-Growing Urban Region. *Journal of Environmental Management*, 87(1), 139-153. doi:10.1016/j.jenvman.2007.01.002
- Delgado, O. B., Mendoza, M., Granados, E. L., & Geneletti, D. (2008). Analysis of land suitability for the siting of inter-municipal landfills in the Cuitzeo Lake Basin, Mexico. *Waste Management*, 28(7), 1137-1146. doi:10.1016/j.wasman.2007.07.002
- Dimopoulou, E., Tolidis, K., Orfanoudakis, Y., & Adam, K. (2011). Spatial multi-criteria decision analysis for site selection of sustainable stone waste disposal. *Fresenius Environmental Bulletin*, 22(7), 1-6.
- EC. (2009). Assessing legal compliance with and implementation of the waste acceptance criteria and procedures by the EU-15 annex to the final report. Brussels. Retrieved 09 10, 2019, from [https://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/report\\_wac\\_annexes.pdf](https://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/report_wac_annexes.pdf)
- EPA. (2016). Environmental guidelines, solid waste landfills, EPA 2016/0259. Sydney. Retrieved 09 12, 2019, from <https://www.epa.nsw.gov.au/~media/EPA/Corporate%20Site/resources/waste/solid-waste-landfill-guidelines-160259.ashx>
- Gorsevski, P. A., Donevska, K. R., Mitrovski, C. D., Joseph, P., & Frizado, J. P. (2011). Integrating multicriteria evaluation techniques with geographic information systems for landfill site selection: A case study using ordered weighted average. *Waste Management*(32), 278-296.
- Güler, D., & Yomralıoğlu, T. (2017). Alternative suitable landfill site selection using analytic hierarchy process and geographic information systems: a case study in Istanbul. *Environmental Earth Sciences*, 76(678). doi:10.1007/s12665-017-7039-1
- KAG. (2004). Katı Atık Genelgesi (23.06.2004 tarih ve 2004/7 sayılı Çevre ve Orman Bakanlığı Genelgesi). Ankara, Türkiye.
- KAKY. (1991). Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (14.03.1991 tarih ve 20814 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Çevre Bakanlığı yönetmeliği). Ankara.
- Kapilan, S., & Elangovan, K. (2018). Potential landfill site selection for solid waste disposal using GIS and multi-criteria decision analysis (MCDA). *Journal of Central South University*(25), 570-585. doi: <https://doi.org/10.1007/s11771-018-3762-3>
- Karadağ, A. A. (2019). Katı atık depolama tesisi yer seçimi için birleştirilmiş hedef programlama ve AHP yaklaşımı. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 11(1), 211-225.
- KAUPG. (2011). Düzenli depolama tesisi uygulama projeleri hazırlanmasına ilişkin genelge (01.04.2011 tarih ve 2001/6 sayılı Çevre ve Orman Bakanlığı Genelgesi). Ankara.
- Khan, D., & Samadder, S. R. (2015). A simplified multi-criteria evaluation model for landfill site ranking and selection based on AHP and GIS. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 23(4), 267-278.
- Kirimi, F. K., & Waithaka, E. H. (2014). Determination of suitable landfill site using geospatial techniques and multi-criteria decision analysis: A case study of Nakuru Town. *International Journal of Science and Research*, 3(11), 500-505.
- Kontos, T. D., Komilis, D. P., & Halvadakis, C. P. (2003). Siting MSW landfills on Lesbos Island with a GIS-based methodology. *Waste Management & Research*, 21(3), 262-277. doi:10.1177/0734242X0302100310
- Küçükönder, M., & Karabulut, M. (2007). Çok kriterli analiz yöntemi kullanılarak Kahramanmaraş'ta çöp depolama alanı tespiti. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 5(2), 55-76.
- Lin, H., & Kao, J. J. (1999). Enhanced spatial model for landfill siting analysis. *Journal of Environmental Engineering*, 125(9), 845-851. doi:dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372

- Lunkapis, J. G., Ahmad, N., Shariff, A. R., Mansor, S., & Mispan, R. M. (2002). GIS as decision support tool for landfills siting. *2nd World Engineering Congress*. Sarawak, Malezya: Faculty of Engineering.
- Mahini, S., & Gholamalifard, M. (2006). Siting MSW landfills with a weighted linear combination (WLC) methodology in a GIS environment. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 3(4), 435-445.
- Malczewski, J. (2004). GIS-based land use suitability analysis: A critical overview. *Progress in Planning*, 62(1), 3-65.
- MAY. (2015). Maden Atıkları Yönetmeliği (15.07.2015 tarih ve 29417 sayılı Resmi Gazetede yayımlanmış Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yönetmeliği). Ankara.
- Randazzo, L., Cusumano, A., Oliveri, G., Di Stefano, P., & Renda, P. (2018). Landfill site selection for municipal solid waste by using AHP method in GIS environment: Waste management decision-support in Sicily (Italy). *Multidisciplinary Journal For Waste Resources and Residues*(2), 78-88.
- Rezaei-Moghaddam, K., & Karami, E. (2008). A multiple criteria evaluation of sustainable agricultural development models using AHP. *Environment Development and Sustainability*(10), 407-426.
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*. New York: McGraw Hill.
- Sancar, C. (2000). *Kentsel gelişim alanlarının saptanması ve planlanmasında CBS ve ekoloji-ekonomi duyarlı planlama modeli*. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü (Yayımlanmamış).
- Siddiqui, M. Z., Everett, J. W., & Vieux, B. E. (1996). Landfill siting using geographic information systems: A demonstration. *Journal of Environmental Engineering*, 122(6), 515-523. doi:[http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372)
- Soyaslan, İ. İ., Hepdeniz, K., & Konu, A. (2011). *Bucak mermer atık envanterinin çıkarılması*. Isparta: Batı Akdeniz Kalkınma Ajansı, Sonuç Raporu (Proje No: TR61/11/DFD/17).
- Şener, B. (2004). *Landfill site selection by using GIS*. Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü (Yayımlanmamış).
- Şengün, M. T., Siler, M., & Engin, F. (2018). Katı atık depolama alanlarının yer seçiminde CBS'nin kullanımı: Malatya Örneği. *ZEITSCHRIFT FÜR DIE WELT DER TÜRKEN (ZJFT)/ JOURNAL OF WORLD OF TURKS*, 159-180.
- TMMOB. (2014). *Burdur Gölü havzası mermer ocakları raporu*. Ankara: Türk Mühendis ve Mimarlar Odaları Birliği.
- URL-1. (2019). Retrieved 09 30, 2019, from T.C. Bucak Kaymakamlığı: <http://www.bucak.gov.tr/bucak-nufus>
- USEPA. (2003). *Location criteria chapter 2 Sub-Part B: In solid waste disposal facility criteria: Technical Manual*. Washington: United States Environmental Protection Agency (USEPA 530-R-93).
- Vasiljevic, T. Z., Srdjevic, Z., Bajcetic, R., & Miloradov, V. M. (2012). GIS and the analytic hierarchy process for regional landfill site selection in transitional countries: A case study from Serbia. *Environmental Management*(49), 445-458. doi:10.1007/s00267-011-9792-3
- Yazdani, M., Monavari, S. M., Omrani, G. A., Shariat, M., & Hosseini, S. M. (2015). Landfill site suitability assessment by means of geographic information system analysis. *Solid Earth*(6), 945-956. doi:10.5194/se-6-945-2015
- Yıldırım, Ü., & Güler, C. (2016). Identification of suitable future municipal solid waste disposal sites for the Metropolitan Mersin (SE Turkey) using AHP and GIS techniques. *Environmantel Earth Sicences*, 75(101). doi: 10.1007/s12665-015-4948-8
- Yılmaz, E. (2005). *Analitik Hiyerarşi Süreci Kullanarak Katılımcı Doğal Kaynak Planlaması*, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Doğu Akdeniz Ormanlık Araştırma Enstitüsü. Tarsus: Çevre ve Orman Bakanlığı Yayın No: 238 ISSN: 1300-7912 DOA Yayın No:31.
- Ying, X., Guang-Ming, Z., Gui-Qiu, C., Ke-Lin, W., & Dao-You, H. (2007). Combining AHP with GIS in synthetic evaluation of eco-environment quality: A case study of Human Province, China. *Ecological Modelling*, 209(2-4), 97-109.
- Yoon, K., & Hwang, C. L. (1995). *Multiple Attribute Decision Making: an Introduction*. London: Sage Publication Inc., 83 p.
- Zulu, S., & Jerie, S. (2017). Site suitability analysis for solid waste landfill site location using Geographic Information Systems and Remote Sensing: A case study of Banket Town Board, Zimbabwe. *Review of Social Sciences*, 2(4), 19-31.



# Yaygın Mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) Genotiplerinin Yarı Kurak İklim Koşullarında Bazı Tarımsal Özellikleri ile Verim Performanslarının Belirlenmesi

Mehmet Arif Özyazıcı<sup>1\*</sup>, Semih Açıkbaş<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8709-4633)

<sup>2</sup> Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4384-3908)

(İlk Geliş Tarihi 5 Aralık 2019 ve Kabul Tarihi 30 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.655662)

**ATIF/REFERENCE:** Özyazıcı, M.A., & Açıkbaş, S. (2019). Yaygın Mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) Genotiplerinin Yarı Kurak İklim Koşullarında Bazı Tarımsal Özellikleri ile Verim Performanslarının Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1058-1068.

## Öz

Bu çalışmada, yaygın mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) genotiplerinin Türkiye'nin yarı kurak iklimine sahip Güneydoğu Anadolu Bölgesi koşullarında bazı agronomik özellikleri ile ot ve tohum verimlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Araştırma, Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Araştırma ve Uygulama Arazisi'nde 2016-2017 yıllarında yürütülmüştür. Bitkisel materyal olarak 22 yaygın mürdümük genotipi ve 2 adet tescilli çeşit kullanılmış olup; tarla denemeleri, tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekrarlamalı olarak kurulmuştur. Çalışmada parsellerin yarısı ot, diğer yarısı da tohum verimine ait parametrelerin belirlenmesi için ayrılmıştır. Araştırmada; doğal bitki boyu, ana sap uzunluğu, ana sap sayısı, yeşil ot verimi, kuru ot verimi, bitkide bakla sayısı, baklada tane sayısı, bin tane ağırlığı, tohum verimi, biyolojik verim ve hasat indeksi verileri alınmıştır. Araştırma sonucuna göre; doğal bitki boyunun 38.35-44.87 cm, ana sap uzunluğunun 55.25-61.82 cm, ana sap sayısının 3.20-4.70 adet/bitki, yeşil ot veriminin 1348.1-1890.4 kg/da, kuru ot veriminin 331.1-448.4 kg/da, bitkide bakla sayısının 11.3-17.7 adet, baklada tane sayısının 2.0-3.1 adet, bin tane ağırlığının 79.36-125.87 g, tohum veriminin 101.3-194.5 kg/da, biyolojik verimin 444.8-707.5 kg/da ve hasat indeksinin % 18.3-% 36.4 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; ot üretimi için ETH WIR-70 ve IFLS 257, tohum üretimi için ise Sel 1794 genotiplerinin öne çıktığı belirlenmiştir. Araştırma sonucunda, öne çıkan ve/veya ümitvar olan genotiplerin tarla denemelerinin devam ettirilmesinin uygun olacağı ve bölgeye uygun yeni çeşitlerin geliştirebileceği öngörülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Mürdümük, Kuru ot verimi, Tohum verimi, Biyolojik verim, Hasat indeksi.

## Determination of Some Agricultural Characteristics and Yield Performance of Common Grasspea (*Lathyrus sativus* L.) Genotypes in Semi-Arid Climate Conditions

### Abstract

This research was conducted to determine some agronomic characteristics, herbage yield and seed yield of common grasspea (*Lathyrus sativus* L.) genotypes under semi-arid climate conditions in Turkey's Southeastern Anatolia Region. This study was carried out in research and application field of Faculty of Agriculture, Siirt University in 2016-2017. In this study, 22 common grasspea genotypes and 2 cultivar were used as plant material. Field trials were established with 3 replications according to randomized complete blocks experimental design. In the study, half of the parcels were reserved to determine herbage and other half was reserved for seed yield. In

\* Sorumlu Yazar: Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt, Türkiye, ORCID: 0000-0001-8709-4633, arifozyazici@siirt.edu.tr



the study, natural plant height, main stem length, main stem number, green forage yield, hay yield, number of pods per plant, number of grains per pod, thousand seed weight, seed yield, biological yield, and harvest index were also investigated. According to results of the study; natural plant height, main stem length, main stem number, green forage yield, hay yield, number of pods per plant, number of grains per pod, thousand seed weight, seed yield, biological yield, and harvest index were ranged between 38.35-44.87 cm, 55.25-61.82 cm, 3.20-4.70 per plant, 1348.1-1890.4 kg/da, 331.1-448.4 kg/da, 11.3-17.7 per plant, 2.0-3.1 per pod, 79.36-125.87 g, 101.3-194.5 kg/da, 444.8-707.5 kg/da, and 18.3-36.4% respectively. According to these results, genotypes ETH WIR-70 and IFLS 257 were suggested for the herbage/hay production, while Sel 1794 was suggested for the seed production. As a result of the research, it is foreseen that field trials of prominent and/or promising genotypes would be appropriate and new varieties suitable for the region could be developed.

**Keywords:** Grasspea, Hay yield, Seed yield, Biological yield, Harvest index.

## 1. Giriş

Leguminosae familyasına ait olan mürdümük (*Lathyrus*) cinsi, içerisinde 189 türü barındırmaktadır (Allkin ve ark., 1985). Bu cinsin, neolitik dönemden beri insan ve hayvan beslenmesi amacıyla dünyada en fazla kültürü yapılan türü yaygın mürdümük (*Lathyrus sativus*)'tür (Hanbury ve ark., 2000; Başaran ve ark., 2007; Ahmadi ve ark., 2015). Yaygın mürdümüğün, kuraklığa dayanıklı olması (Tekele-Haimanot ve ark., 1990), tohumların protein içeriğinin yüksek oluşu (Kuo ve ark., 1995; Grela ve ark., 2012) ve bunun yanında hastalık ve zararlılara karşı toleranslı olması (Talukdar ve Biswas, 2008) gibi avantajlı yönleri ile hem yem hem de tohum verimi için yetiştirilen tek yıllık serin mevsim baklagil yem bitkisidir.

Mürdümük türleri, başta Doğu ve Güney Doğu Anadolu bölgeleri ile Orta Karadeniz Bölgesi olmak üzere Türkiye'nin doğal florasında yaygın şekilde yetişmesine (Kılınç ve Özen, 1988a; Kılınç ve Özen, 1988b; Kutbay ve ark., 1995) rağmen, Türkiye'de oldukça sınırlı alanda tarımı yapılmaktadır. Bununla birlikte; kıraç topraklara ve kuraklığa karşı dayanıklılığı, tarımında daha az girdiye ihtiyaç duyması, Türkiye'de en çok tarımı yapılan yem bitkisi içerisinde yer alan yaygın fiğ (*Vicia sativa* L.) ile mukayese edildiğinde daha verimli olması, önemli bir ekim nöbeti ve yeşil gübre bitkisi olması, karışık ekimlerindeki üstünlükleri gibi tarımsal faydaları dikkate alındığında çiftçiler tarafından kolayca benimsenebileceği ve tarımının yaygınlaştırılabileceği belirtilmiştir (Fırcıoğlu ve ark., 2004). Bu amaçla Türkiye'nin farklı ekolojilerinde yürütülen araştırmalardan (Sabancı ve Özpınar, 2000; Balabanlı ve Kara, 2003; Karadağ ve ark., 2004, 2012; Kökten ve Bakoğlu, 2011; Sayar ve Han, 2015; Öten ve ark., 2017) olumlu sonuçlar alınmış, yaygın mürdümüğün ot verimi ve kalitesi ile tohum üretimi amacıyla yetiştirilebilecek alternatif bir yem bitkisi olduğu ifade edilmiştir.

Gelişmiş ülkelerde tarla tarımı içerisinde yem bitkilerinin ekiliş oranı % 25-30'larda iken, bu oran Türkiye'de % 8-10 civarındadır. Bu oranı arttırabilmek için, yetiştiriciliği yapılan mevcut yem bitkisi tür ve çeşitlerin tarımı ile ilgili bir dizi kültürel işlemlerin doğru ve zamanında yapılmasının yanı sıra; alternatif olabilecek yem bitkisi cins ve/veya türlerin ortaya konulması, yeni çeşitlerin geliştirilmesi ve geliştirilen çeşitlerin farklı ekolojilerde adaptasyon çalışmalarının yapılması da büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, tarla tarımı içerisinde yetiştirilebilme potansiyeli yüksek olan yaygın mürdümük (*L. sativus* L.) bitkisine ait bazı genotiplerin, Türkiye'nin yarı kurak iklim koşullarına sahip Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde ot ve tohum verimi ile verime etkili bazı unsurlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Araştırma; 2016 ve 2017 yıllarında, Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Siirt ili ekolojik koşullarında yürütülmüştür (Şekil 1). Uzun yıllar (1970-2017) meteorolojik verilerine göre (Anonim, 2017) Siirt ili ikliminin yarı kurak olduğu anlaşılmaktadır. Yörede uzun yıllar sıcaklık ortalaması 16.2 °C iken; araştırma yıllarındaki (2016 ve 2017) ortalama sıcaklık değerleri sırasıyla 17.1 °C ve 17.2 °C olarak gerçekleşmiştir. Araştırma yıllarındaki toplam yağış miktarları sırasıyla 775.0 mm ve 552.0 mm olarak gerçekleşmiş olup, uzun yıllar toplam yağış ortalaması ise 647.0 mm olarak kaydedilmiştir. Ortalama nispi nem değerleri açısından, araştırma yılları ile uzun yıllar ortalamalarının birbirlerine yakın olduğu görülmektedir (Tablo 1).



Şekil 1. Araştırma Alanı Lokasyon Haritası



Tablo 1. Araştırma Yerine Ait Uzun Yıllar (1970-2017) ve Araştırma Yılları Bazı İklim Verileri

Rasat Yılları/Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ortalama/Toplam
<b>Ortalama Sıcaklık (°C)</b>													
2016	1.7	8.1	10.1	16.6	19.9	26.5	31.4	32.3	25.0	19.5	10.4	3.3	17.1
2017	3.0	2.7	9.6	14.0	19.5	26.9	32.3	32.0	28.4	18.4	11.2	8.0	17.2
1970-2017	2.8	4.4	8.7	14.1	19.5	26.2	30.6	30.1	25.2	18.1	10.3	4.7	16.2
<b>Nispi Nem (%)</b>													
2016	76.2	68.3	62.3	47.5	48.9	32.7	24.5	20.5	29.8	36.8	49.7	73.1	47.5
2017	65.9	64.9	63.9	59.5	51.7	29.5	19.0	19.0	19.1	34.6	64.4	65.2	46.4
1970-2017	70.5	65.6	60.3	57.3	49.2	34.0	26.8	26.1	31.0	47.2	62.2	70.1	50.0
<b>Toplam Yağış Miktarı (mm)</b>													
2016	196.8	63.8	136.6	66.8	64.7	20.6	2.4	0.2	19.0	27.1	55.6	121.4	775.0
2017	46.4	29.2	119.2	132.8	74.6	0.0	0.0	0.4	0.0	5.2	97.0	48.2	552.0
1970-2017	72.9	89.9	98.9	96.7	59.5	9.7	3.1	2.3	4.7	47.9	77.8	83.6	647.0

Araştırmada, tarla denemesi kurulmadan önce 0-20 cm derinlikten alınan toprak örneklerinin analiz sonuçları Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 2 incelendiğinde; her iki yıla ait araştırma topraklarının tuzsuz, hafif alkali karakterde, kireçli-orta kireçli ve alınabilir potasyum (K) içeriklerinin yeterli düzeyde olduğu saptanmıştır. Birinci yıl toprakları killi tekstürlü, organik madde kapsamı az, alınabilir fosfor (P) kapsamı ise çok az düzeyde; ikinci yıl toprakları ise killi-tın tekstürlü, organik madde ve alınabilir P kapsamı orta düzeydedir (Tablo 2).

Tablo 2. Araştırma Yeri Topraklarının Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri\*

Toprak Özelliği	Değeri	
	2016 yılı deneme yeri	2017 yılı deneme yeri
Kum, %	14.00	39.84
Kil, %	58.00	34.16
Silt, %	28.00	26.00
pH	7.95	7.53
Elektriksel İletkenlik, dS/m	0.107	0.150
Kireç (CaCO <sub>3</sub> ), %	10.5	4.2
Organik madde, %	1.35	2.22
Alınabilir P, kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /da	2.3	7.9
Alınabilir K, kg K <sub>2</sub> O/da	163	117

\*: Analizler, Siirt Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi Laboratuvarı’nda yapılmıştır.

Araştırmada, ICARDA (International Center for Agricultural Research in the Dry Areas)’dan temin edilen 22 hat ile Türkiye’de ıslah edilen 2 çeşit (GAP Mavisi ve Gürbüz-2001) olmak üzere toplam 24 yaygın mürdümük genotipi materyal olarak kullanılmıştır.

Araştırmada tarla denemeleri, tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekrarlamalı olarak kurulmuştur. Her parselde 6 sıra halinde 25 cm sıra arası mesafe ile ekim yapılmış olup (Anonim, 2019); parsellerin yarısı ot, diğer yarısı ise tohum verimine ait parametrelerin ölçülmesi için planlanmıştır. Buna göre parsel büyüklüğü 1.50 m x 5.00 m= 7.5 m<sup>2</sup>’dir. Dekara 14 kg ekim normu ile tohum atılmıştır. Toprak analiz sonuçlarına göre ekimle birlikte; ilk yıl 4 kg/da, ikinci yıl ise 3 kg/da saf azot (N) olacak şekilde üre (% 46 N) ve ilk yıl 6 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/da saf P olacak şekilde de triple süper fosfat (% 43-44 P) gübrelemesi yapılmıştır. Araştırmanın ikinci yılında, toprakta alınabilir P yeterli düzeyde olduğu için fosforlu gübreleme uygulanmamıştır.

Ekimler her iki yılda da Mart ayının ilk yarısında (03.03.2016 ve 14.03.2017) yapılmış; Mayıs ayının ikinci yarısında (15.05.2016 ve 25.05.2017) ot verimi ve ilk yıl için Haziran ayının ikinci yarısında (27.06.2016), ikinci yıl için Temmuz ayının ilk haftasında (03.07.2017) da tohum verimi için hasatlar gerçekleştirilmiştir. Hasat sırasında parsel başlarından 0.5 m’lik kısımlar, parsel kenarlarından ise birer sıra kenar tesiri olarak atılmıştır. Ot verimine ait parametreler tam çiçeklenme döneminde, tohum verimine ait özellikler ise fizyolojik olum döneminde yapılmıştır.

Araştırmada kullanılan genotiplerde; doğal bitki boyu, ana sap uzunluğu, ana sap sayısı, yeşil ve kuru ot verimi, bitkide bakla sayısı, baklada tane sayısı, tohum verimi, bin tane ağırlığı, biyolojik verim ve hasat indeksi Anonim (2019) tarafından bildirilen esaslara göre tespit edilmiştir.

Araştırma sonunda elde edilen verilerde, her bir özellik için homojenlik testi yapılmış olup, varyanslar homojen çıkmıştır. Buna göre iki yıllık veriler tesadüf blokları deneme desenine göre varyans analizine tabii tutulmuş; F testi sonuçlarına göre gruplar arasındaki farklılıklar Tukey çoklu karşılaştırma testi ile belirlenmiştir (Açıkgöz ve Açıkgöz, 2001).

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Doğal Bitki Boyu

Doğal bitki boyu yönünden genotipler arasında istatistiksel açıdan çok önemli ( $p<0.01$ ) farklılıklar belirlenmiştir. İki yıllık ortalama verilere göre; en yüksek doğal bitki boyu istatistiksel açıdan birinci grupta yer alan ETH WIR-70 (44.87 cm) ve Sel 706 (44.83 cm) genotiplerinde belirlenmiştir. En düşük doğal bitki boyu değeri ise Sel 440 genotipinde (38.35 cm) saptanmıştır. Genotip x yıl interaksyonu incelendiğinde ise; bazı genotiplerde bitki boyu değerleri yıllara göre dalgalanmalar göstermiş; ilk yıl bazı genotipler yüksek bitki boyu grubunda iken (örneğin, Sel 2329), ikinci yıl aynı genotipler düşük grupta yer almışlardır. Bu nedenle, doğal bitki boyu yönünden genotip x yıl interaksyonu istatistiksel açıdan çok önemli ( $p<0.01$ ) bulunmuştur (Tablo 3). Genotipler arasındaki bu boy farklılıkları; Kökten ve Bakoğlu (2011), Sayar ve ark. (2013) ve Seydoşoğlu ve ark. (2015) tarafından da ifade edildiği üzere, genotiplerin genetik yapılarının ve adaptasyon yeteneklerinin farklı olması ile açıklanabilir.

Araştırmanın ilk yılında genotiplerin ortalaması olarak doğal bitki boyu 41.91 cm, ikinci yılında 40.47 cm olarak saptanmıştır. Yıllar arasındaki bu farklılık istatistiksel açıdan çok önemli ( $p<0.01$ ) bulunmuştur (Tablo 3).

Yaygın mürdümük bitkisi ile yapılan araştırmalarda doğal bitki boyunun 37.2 cm ile 153.0 cm arasında değişim gösterdiği bildirilmiştir (Bayram ve ark., 2004; Gül ve ark., 2004; Türk ve ark., 2007; Rybinski ve ark., 2008; Bucak, 2009; Kökten ve Bakoğlu, 2011; Sayar ve ark., 2013; Seydoşoğlu ve ark., 2015; Ahmadi ve ark., 2015). Çalışmadan elde edilen doğal bitki boyu değerleri, diğer araştırmacıların elde ettiği bir kısım değerlerle benzerlik gösterirken, bir kısmından düşük bulunmuştur. Bu farklılıkların, araştırmalarda kullanılan genotipler ile denemelerin yürütüldüğü ekolojik koşullardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 3. Yaygın Mürdümük Genotiplerinde Belirlenen Doğal Bitki Boyu, Ana Sap Uzunluğu ve Ana Sap Sayısına Ait Değerler<sup>1</sup>

Genotipler	Doğal Bitki Boyu (cm)			Ana Sap Uzunluğu (cm)			Ana Sap Sayısı (adet/bitki)		
	2016	2017	Ortalama	2016	2017	Ortalama	2016	2017	Ortalama
IFLS 349	40.00 efg	40.00 efg	40.00 DEF	56.53 bcd	56.89 bcd	56.71 AB	3.07 ef	3.33 def	3.20 E
IFLS 257	47.33 a	40.80 d-g	44.07 AB	58.13 bcd	57.13 bcd	57.63 AB	3.00 f	3.67 b-f	3.33 DE
IFLS 298	42.80 a-c	38.47 efg	40.63 B-F	57.33 bcd	59.44 a-d	58.39 AB	3.33 def	4.00 a-f	3.67 B-E
IFLS 206	40.90 d-g	36.47 g	38.68 EF	56.40 bcd	55.47 bcd	55.93 B	3.53 b-f	4.33 a-e	3.93 A-E
GAP Mavisi	41.80 b-g	39.13 efg	40.47 C-F	57.67 bcd	57.67 bcd	57.67 AB	4.00 a-f	4.33 a-e	4.17 A-D
IFLS 968	43.13 a-e	40.27 efg	41.70 A-F	57.60 bcd	59.11 a-d	58.36 AB	4.07 a-f	4.33 a-e	4.20 ABC
Gürbüz-2001	43.53 a-e	41.80 b-g	42.67 A-D	58.33 bcd	60.33 a-d	59.33 AB	3.13 def	3.67 b-f	3.40 CDE
Sel 666	42.13 a-f	40.73 d-g	41.43 A-F	57.13 bcd	55.47 bcd	56.30 AB	4.00 a-f	4.33 a-e	4.17 A-D
Sel 668	40.93 d-g	40.60 d-g	40.77 B-F	55.60 bcd	59.07 a-d	57.33 AB	4.40 a-d	5.00 a	4.70 A
Sel 676	40.47 efg	41.80 b-g	41.13 B-F	55.73 bcd	60.73 a-d	58.23 AB	4.00 a-f	4.33 a-e	4.17 A-D
Sel 681	40.93 d-g	46.60 abc	43.77 ABC	55.53 bcd	63.33 ab	59.43 AB	3.40 c-f	4.67 abc	4.03 A-E
Sel 702	40.87 d-g	40.53 efg	40.70 B-F	54.80 bcd	61.11 a-d	57.96 AB	3.13 def	4.67 abc	3.90 A-E
Sel 706	46.00 a-d	43.67 a-e	44.83 A	54.40 cd	60.11 a-d	57.26 AB	3.67 b-f	4.67 abc	4.17 A-D
Sel 299	41.53 b-g	36.53 g	39.03 EF	57.27 bcd	53.93 d	55.60 B	4.13 a-f	4.00 a-f	4.07 A-D
Sel 1837	41.00 d-g	36.67 g	38.83 EF	63.27 ab	55.57 bcd	59.42 AB	4.00 a-f	4.00 a-f	4.00 A-E
Sel 2267	39.53 efg	39.60 efg	39.57 DEF	54.87 bcd	59.33 a-d	57.10 AB	3.33 def	4.67 abc	4.00 A-E
Sel 2273	41.20 c-g	39.53 efg	40.37 C-F	54.27 cd	56.22 bcd	55.25 B	3.67 b-f	4.33 a-e	4.00 A-E
Sel 2329	43.67 a-e	40.47 efg	42.07 A-E	60.47 a-d	60.17 a-d	60.32 AB	4.13 a-f	4.00 a-f	4.07 A-D
Sel 385	40.40 efg	39.73 efg	40.07 DEF	56.93 bcd	59.33 a-d	58.13 AB	3.87 a-f	4.00 a-f	3.93 A-E
Sel 421	41.87 b-g	41.87 b-g	41.87 A-E	57.80 bcd	59.56 a-d	58.68 AB	4.13 a-f	3.67 b-f	3.90 A-E
Sel 440	39.73 efg	36.97 fg	38.35 F	54.07 d	56.67 bcd	55.37 B	4.13 a-f	4.00 a-f	4.07 A-D
Sel 1794	42.67 a-e	41.67 b-g	42.17 A-E	60.33 a-d	60.44 a-d	60.39 AB	5.00 a	4.33 a-e	4.70 A
ETH-24	40.60 d-g	40.60 d-g	40.60 B-F	55.33 bcd	62.89 abc	59.11 AB	3.47 b-f	4.33 a-e	3.90 A-E
ETH WIR-70	42.87 a-c	46.87 ab	44.87 A	56.53 bcd	67.11 a	61.82 A	4.73 ab	4.00 a-f	4.37 AB
Ortalama	41.91 A	40.47 B		56.93 B	59.05 A		3.81 B	4.19 A	
Önemlilik düzeyi	Genotip (G)** , Yıl (Y)** , GxY**			G** , Y** , GxY**			G** , Y** , GxY**		
DK (%)	3.91			4.43			9.72		

<sup>1</sup>: Aynı grupta aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık istatistiksel açıdan önemli değildir, \*\*:  $p<0.01$  hata sınırları içerisinde önemlidir, DK: Değişim katsayısı

#### 3.2. Ana Sap Uzunluğu

Ana sap uzunluğu yönünden, genotipler ve yıllar arasında istatistiksel açıdan  $p<0.01$  düzeyinde önemli farklılıklar olduğu görülmüştür. İki yılın ortalamasına göre, en yüksek ana sap uzunluğu değeri ETH WIR-70 (61.82 cm) genotipinde belirlenmiştir. Ancak, ETH WIR-70 genotipine ait ana sap uzunluğu değeri ile IFLS 206, Sel 299, Sel 2273 ve Sel 440 genotipleri hariç diğer genotipler arasındaki farklılık istatistiksel açıdan önemsiz çıkmıştır (Tablo 3). Ana sap uzunluğu yönünden genotipler arasındaki bu farklılığa, genetik yapılarının sebep olduğu düşünülmektedir. Ana sap uzunluğu yönünden *L. sativus* genotipleri arasında önemli farklılıkların olduğu bazı araştırma sonuçlarında (Sayar ve ark., 2013; Seydoşoğlu ve ark., 2015) da rapor edilmiştir.

Araştırmada en yüksek ana sap uzunluğu değeri genotiplerin ortalaması olarak 59.05 cm ile 2017 yılında ölçülmüştür (Tablo 3). Yıllar arasındaki bu değişkenlik, iklim özelliklerinin farklı olması ile açıklanabilir. Genotip x yıl interaksyonu incelendiğinde; en yüksek ana sap uzunluğu çalışmanın ikinci yılında ETH WIR-70 (67.11 cm), ilk yılında ise Sel 1837 (63.27 cm) genotipinde tespit edilmiştir. Benzer şekilde bazı genotipler her iki yılda da farklı performanslar göstermiştir. Bunun sonucunda genotip x yıl interaksyonu istatistiksel açıdan  $p < 0.01$  düzeyinde önemli çıkmıştır (Tablo 3).

Yaygın mürdümükte Türkiye'nin farklı ekolojilerinde yapılan araştırmalarda ana sap uzunluklarını; Şanlıurfa'da Bucak (1999) 46.37-114.95 cm, Konya'da Gündüz (2012) 26-70 cm, Diyarbakır'da Seydoşoğlu ve ark. (2015) 74.42-98.75 cm, Tekirdağ'da Tenikecier ve ark. (2017) 30.27-92.75 cm, Elazığ'da Özdemir (2016) 23.67-31.53 cm ve Antalya'da Öten ve ark. (2017) 81.3-127.6 cm arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Türkiye'nin farklı bölgelerinde yapılan çalışmalarda görüldüğü gibi, ana sap uzunluğu çalışmaların kurulduğu yerin ekolojisinin değişmesine bağlı olarak farklılık gösterdiği söylenebilir.

### **3.3. Ana Sap Sayısı**

İki yılın ortalama sonuçları incelendiğinde, ana sap sayısı yönünden yaygın mürdümük genotipleri arasındaki farklılık istatistiksel açıdan  $p < 0.01$  düzeyinde önemli bulunmuştur. İki yılın ortalamasına göre, en yüksek ana sap sayısı istatistiksel olarak birinci grubu oluşturan Sel 668 (4.70 adet/bitki) ve Sel 1794 (4.70 adet/bitki) genotiplerinde belirlenmiştir. Ancak, adı geçen bu genotiplere ait ana sap sayısı değerleri ile IFLS 349, IFLS 257, IFLS 298 ve Gürbüz-2001 genotipleri hariç diğer genotipler arasındaki farklılık istatistiksel açıdan önemsiz çıkmıştır (Tablo 3). Yaygın mürdümük ile yapılan diğer çalışmalar gözden geçirildiğinde, farklı genotiplere ait ana sap sayısını; Bucak (1999) 3.57-10.23 adet/bitki, Kumar ve Dubey (2003) 4.6-8.6 adet/bitki, Tadesse ve Bekele (2003) 8.8-10.0 adet/bitki, Rybinski ve ark. (2008) 3.86-6.46 adet/bitki, Kökten ve Bakoğlu (2011) 4.30-5.47 adet/bitki, Gündüz (2012) 4-8 adet/bitki ve Özdemir (2016) 2.55-4.00 adet/bitki arasında değişim gösterdiğini bildirmişlerdir. Önceki çalışmalardan da anlaşılacağı üzere, ana sap sayısının oldukça değişken bir karakter olduğunu söylemek mümkündür. Literatürde bildirilen bu değerler ile çalışmamız bulguları arasındaki farklılıkların nedeni olarak, genotipik ve yetiştirilme şartlarının farklı olması gösterilebilir.

Ana sap sayısı yönünden yıllar arasındaki farklılık istatistiksel açıdan  $p < 0.01$  düzeyinde önemli bulunmuş, en yüksek değerler araştırmanın ikinci yılında elde edilmiştir. Genotip x yıl interaksyonu incelendiğinde, ilk yıl Sel 1794 (5.0 adet/bitki), ikinci yıl ise Sel 668 (5.0 adet/bitki) genotiplerinde en yüksek ana sap sayısı değerleri belirlenmiştir. Genotip x yıl interaksyonu istatistiksel açıdan önemli ( $p < 0.01$ ) bulunmuştur (Tablo 3).

### **3.4. Yeşil Ot Verimi**

Araştırmada incelenen yaygın mürdümük genotiplerinin yeşil ot verimlerine ait değerleri Tablo 4'te verilmiştir. İki yılın ortalamasına göre; en yüksek yeşil ot verimi 1890.4 kg/da ile IFLS 257 genotipinde belirlenmiş olup, IFLS 257 genotipi ile IFLS 349, IFLS 298, GAP Mavisi, IFLS 968, Gürbüz-2001, Sel 666, Sel 668, Sel 681, Sel 702, Sel 706, Sel 2273, Sel 2329, Sel 421, Sel 1794 ve ETH WIR-70 genotiplerine ait yeşil ot verimi değerleri arasındaki farklılık istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur. Çalışmada, en düşük yeşil ot verimi ise 1348.1 kg/da ile Sel 1837 genotipinde saptanmıştır. Genotipler arasındaki bu farklılık istatistiksel açıdan  $p < 0.01$  düzeyinde önemli bulunmuştur (Tablo 4).

Yaygın mürdümük genotipleri ile yürütülen araştırmalarda, araştırmamız bulgularında olduğu gibi yeşil ot verimi yönünden genotipler arasında istatistiksel açıdan önemli ve/veya çok önemli farklılıkların tespit edildiği ve yeşil ot veriminin genetik yapının etkisine bağlı olarak genotiplere göre önemli değişimler gösterdiği ifade edilmiştir. Türkiye'nin değişik ekolojilerinde farklı genotiplerle yapılan bu çalışmalar incelendiğinde yeşil ot veriminin; Van ekolojik koşullarında Andic ve ark. (1996) 597.1-1452.5 kg/da, Isparta'da Balabanlı ve Kara (2003) 467.3-816.7 kg/da, Tokat koşullarında Karadağ ve İptaş (2007) 1000.0-1520.8 kg/da, Elazığ'da Kökten ve Bakoğlu (2011) 1482.3-1569.3 kg/da arasında değişim gösterdiğini rapor etmişlerdir. Araştırmamızda elde edilen bulguların literatürdeki bu bulgulardan yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum, kullanılan genotipler ile iklim ve toprak şartlarının farklı olmasıyla açıklanabilir. Diğer taraftan, yeşil ot verimi yönünden elde edilen bulgularımızın Seydoşoğlu ve ark. (2015)'nin (1379.5-3154.2 kg/da), Öten ve ark. (2017)'nin (813.3-2552.0 kg/da) ve Tenikecier ve ark. (2017)'nin (1954.5-2233.3 kg/da) bulgularıyla uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

Genotip x yıl interaksyonu incelendiğinde; ilk yıl 1697.8 kg/da ile IFLS 257 genotipinden en yüksek yeşil ot verimi elde edilirken, ikinci yıl 2379.3 kg/da ile Sel 681 genotipinden elde edilmiştir. Yıllar ve genotipler arasındaki bu farklılık nedeniyle genotip x yıl interaksyonu istatistiksel açıdan  $p < 0.01$  düzeyinde önemli bulunmuştur. Öte yandan araştırmada, genotiplerin ortalaması olarak en yüksek yeşil ot verimi 2017 yılında belirlenmiş ve istatistiksel olarak birinci grubu oluşturmuştur. Yıllar arasındaki bu farklılık istatistiksel açıdan  $p < 0.01$  düzeyinde önemli bulunmuştur (Tablo 4). İkinci yıl, ilk yıla göre daha fazla yeşil ot verimi elde edilmesi, mürdümüğün vejetasyon dönemindeki toplam yağış miktarının (Tablo 1) ikinci yıl daha fazla olması ile açıklanabilir.

Tablo 4. Yaygın Mürdümük Genotiplerinde Belirlenen Yeşil ve Kuru Ot Verimine Ait Değerler<sup>1</sup>

Genotipler	Yeşil Ot Verimi (kg/da)			Kuru Ot Verimi (kg/da)		
	2016	2017	Ortalama	2016	2017	Ortalama
IFLS 349	1247.4 ı-m	2109.6 abc	1678.5 A-F	311.3 j-p	515.6 abc	413.4 A-E
IFLS 257	1697.8 c-ı	2083.0 a-d	1890.4 A	390.6 c-o	506.2 a-d	448.4 A
IFLS 298	1487.4 f-m	1641.5 c-j	1564.5 A-F	347.0 f-p	410.0 c-m	378.5 A-E
IFLS 206	1303.7 h-m	1656.3 c-j	1480.0 C-F	306.5 k-p	410.7 c-m	358.6 B-E
GAP Mavisi	1389.6 g-m	1860.7 a-g	1625.2 A-F	319.8 h-p	462.7 a-g	391.2 A-E
IFLS 968	1537.8 e-m	1872.6 a-g	1705.2 A-E	353.3 f-p	477.7 a-f	415.5 A-E
Gürbüz-2001	1558.5 d-l	2011.9 a-f	1785.2 A-D	357.3 e-p	499.4 a-d	428.4 A-D
Sel 666	1425.2 g-m	1804.4 b-h	1614.8 A-F	326.8 h-p	439.8 a-k	383.3 A-E
Sel 668	1247.4 ı-m	1893.3 a-g	1570.4 A-F	281.6 m-p	497.3 a-d	389.5 A-E
Sel 676	1105.2 klm	1807.4 b-h	1456.3 DEF	260.9 op	441.7 a-j	351.3 CDE
Sel 681	1250.4 ı-m	2379.3 a	1814.8 ABC	280.8 m-p	559.5 ab	420.2 A-D
Sel 702	1386.7 g-m	1857.8 a-g	1622.2 A-F	316.7 ı-p	436.8 b-l	376.7 A-E
Sel 706	1629.6 c-k	2023.7 a-e	1826.7 AB	377.7 d-o	491.0 a-e	434.4 ABC
Sel 299	1197.0 ı-m	1685.9 c-j	1441.5 EF	285.3 m-p	452.4 a-h	368.9 A-E
Sel 1837	1108.1 klm	1588.1 c-k	1348.1 F	258.8 op	403.4 c-n	331.1 E
Sel 2267	1045.9 lm	1979.3 a-f	1512.6 B-F	239.8 p	510.9 a-d	375.3 A-E
Sel 2273	1271.1 ı-m	1872.6 a-g	1571.9 A-F	315.5 ı-p	490.6 a-e	403.1 A-E
Sel 2329	1531.9 e-m	1828.1 b-h	1680.0 A-F	377.3 d-o	498.5 a-d	437.9 AB
Sel 385	1185.2 ı-m	1659.3 c-j	1422.2 EF	274.3 nop	448.7 a-ı	361.5 B-E
Sel 421	1229.6 ı-m	1976.3 a-f	1603.0 A-F	302.9 l-p	505.1 a-d	404.0 A-E
Sel 440	1028.1 m	1848.9 b-g	1438.5 EF	261.4 op	480.5 a-f	371.0 A-E
Sel 1794	1365.9 g-m	1869.6 a-g	1617.8 A-F	337.0 g-p	463.6 a-g	400.3 A-E
ETH-24	1161.5 j-m	1632.6 c-k	1397.0 EF	275.3 nop	410.9 c-m	343.1 DE
ETH WIR-70	1380.7 g-m	2302.2 ab	1841.5 AB	303.3 l-p	571.2 a	437.2 ABC
Ortalama	1323.8 B	1885.2 A		310.9 B	474.3 A	
Önemlilik düzeyi	G**, Y**, GxY**			G**, Y**, GxY**		
DK (%)	9.79			10.18		

<sup>1</sup>: Aynı grupta aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık istatistiksel açıdan önemli değildir, \*\*: p<0.01 hata sınırları içerisinde önemlidir, DK: Değişim katsayısı

### 3.5. Kuru Ot Verimi

Kuru ot verimleri açısından genotipler arasında istatistiksel olarak çok önemli (p<0.01) farklılıklar belirlenmiştir. İki yılın ortalama verilerine göre; en yüksek kuru ot verimi 448.4 kg/da ile IFLS 257 genotipinde belirlenmiş olup; IFLS 257 genotipi ile IFLS 206, Sel 676, Sel 1837, Sel 385 ve ETH-24 genotipleri hariç diğer genotiplerine ait kuru ot verimi değerleri arasındaki farklılık istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur. Çalışmada, en düşük kuru ot verimi ise 331.1 kg/da ile Sel 1837 genotipinde saptanmıştır (Tablo 4). Yaygın mürdümük (*L. sativus* L.) genotipleri arasında kuru ot verimi yönünden farklılıkların olduğu birçok araştırma bulgularında da rapor edilmiştir (Abd El-Moneim and Cocks, 1993; Balabanlı ve Kara, 2003; Karadağ ve ark., 2004; Sayar ve ark., 2013; Seydoşoğlu ve ark., 2015; Öten ve ark., 2017). Genotiplerin farklı genetik yapılarından dolayı yetiştirildiği ortamın iklim ve toprak şartlarına uyum yeteneklerinin farklı olmasının, genotipler arasındaki kuru ot verimi değerlerinin değişkenlik göstermesine neden olduğu düşünülmektedir.

Genotip x yıl interaksiyonu incelendiğinde; kuru ot veriminin yıllar ve genotipler arasında 239.8 kg/da (2016 yılı, Sel 2267 genotipi) ile 571.2 kg/da (2017 yılı, ETH WIR-70 genotipi) arasında değişim gösterdiği görülmektedir. Bu değişim istatistiksel açıdan p<0.01 düzeyinde önemli bulunmuştur. Yıllar arasındaki farklılık da istatistiksel açıdan çok önemli (p<0.01) bulunmuş, en yüksek kuru ot verimi genotiplerin ortalaması olarak araştırmanın ikinci yılında tespit edilmiştir (Tablo 4).

Çalışmada elde edilen kuru ot verimlerine ait bulgular; Çakmakçı ve Aydınoglu (2002)'nin (311.9-493.6 kg/da), Öten ve ark. (2017)'nin (147.9-681.7 kg/da) ve Tenikecier ve ark. (2017)'nin (256.9-911.7 kg/da) çalışmalarıyla uyum içindeyken; Ahmadi ve ark. (2015)'nin (97.5-183.5 kg/da) ve Özdemir (2016)'in (86.8-265.8 kg/da) bulgularından yüksek bulunmuştur. Bu çalışmanın sonucu ile diğer çalışmalar arasındaki farklılıkların genotip ve çevresel faktörlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

### 3.6. Bitkide Bakla Sayısı

Bakla sayısı bakımından genotipler arasındaki farklılık istatistiksel olarak p<0.01 düzeyinde önemli bulunmuştur. Yılların ortalamasına göre, en yüksek bitkide bakla sayısı değeri 17.7 adet/bitki ile Sel 1794 genotipinden elde edilmiş; bu genotip ile çalışmada incelenen IFLS 968, Sel 706, Sel 2267, Sel 2273, Sel 421 ve Sel 440 genotipleri arasındaki farklılık istatistiksel yönden önemsiz bulunmuştur. En düşük bakla sayısı ise 11.3 adet/bitki ile Sel 1837 genotipinden elde edilmiştir (Tablo 5).

Yaygın mürdümükte yapılan değişik çalışmalarda, bitkide bakla sayısını; Milczak ve ark. (2001) 17.9-24.0 adet, Gül ve ark. (2004) 21.9-27.9 adet, Rybinski ve ark. (2008) 20.3-60.3 adet, Kökten ve Bakoğlu (2011) 16.3-20.4 adet, Özdemir (2016) 6.0-16.0 adet ve



Öten ve ark. (2017) 9.6-35.8 adet arasında değiştiğini rapor etmişlerdir. Bitkide bakla sayısı yönünden, araştırmamız bulguları ile literatürlerdeki bu bulgular arasındaki farklılığın, iklim ve genetik varyasyondan kaynaklandığı düşünülmektedir.

### 3.7. Baklada Tane Sayısı

Baklada tane sayıları yıllara ve genotiplere göre 1.9-3.2 adet arasında değişmiş olup, genotipler arasındaki farklılık istatistiksel açıdan çok önemli ( $p<0.01$ ) bulunmuştur. En yüksek baklada tane sayısı değeri yılların ortalaması olarak 3.1 adet ile ETH-24 genotipinde belirlenmiş olup; ETH-24 genotipi ile IFLS 349, IFLS 257, IFLS 206, Gürbüz-2001, Sel 666, Sel 668, Sel 681, Sel 299, Sel 2267, Sel 2273, Sel 2329, Sel 385, Sel 421 ve ETH WIR-70 genotiplerine ait baklada tane sayısı değerleri arasındaki farklılık istatistiki açıdan önemsiz bulunmuştur (Tablo 5). Baklada tane sayısı, genotip ve ekolojik koşullara göre değişiklik gösterdiği birçok araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir (Şehirli, 1980; Bayram ve ark., 2004; Pekşen, 2005; Öten ve ark., 2017).

Farklı ekolojilerde yürütülen çalışmalarda, baklada tane sayısı değerinin Gedik (2007) 2.3-2.9 adet, Rybinski ve ark. (2008) 1.1-3.5 adet, Gündüz (2012) 2.3- 3.0 adet ve Seydoşoğlu ve ark. (2015) 3.0-3.7 adet arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

### 3.8. Bin Tane Ağırlığı

Bin tane ağırlıkları yönünden genotipler arasında istatistiksel açıdan  $p<0.01$  düzeyinde önemli farklılıklar tespit edilmiştir. En yüksek bin tane ağırlığı Sel 1794 (125.87 g) genotipinde saptanmıştır. Bin tane ağırlığı yönünden Sel 1794 genotipi ile IFLS 968, Sel 2267, Sel 421 ve Sel 440 genotipleri arasındaki farklılık istatistiki açıdan önemsiz bulunmuştur. En düşük bin tane ağırlıklarına sahip genotip ise 79.36 g ile Sel 1837 olmuştur (Tablo 5).

Bin tane ağırlığı ile ilgili elde edilen sonuçlar; Bayram ve ark. (2004)'nın (89.9-182.1 g), Tavoletti ve ark. (2005)'nin (79.0-276.0 g), Gedik (2007)'in (85.3-154.0 g) ve Rybinski ve ark. (2008)'nin (91.0-492.0 g) bulgularıyla uyumlu iken; Sabancı ve Özpınar (2000)'in 58.0-68.0 g arasında elde ettiği değerlerden yüksek; Gül ve ark. (2004)'nin (124.4-144.9 g) ve Polignano ve ark. (2009)'nin (238-410 g) elde ettiği bulgulardan düşük bulunmuştur. Bu çalışmanın sonuçları ile diğer araştırmacıların bulguları arasındaki farklılıkların nedeni, kullanılan genotipler ya da yetiştirilme şartlarıyla ilgili olduğu düşünülmektedir.

Tablo 5. Yaygın Mürdümük Genotiplerinde Belirlenen Bitkide Bakla Sayısı, Baklada Tane Sayısı ve Bin Tane Ağırlığına Ait Değerler<sup>1</sup>

Genotipler	Bitkide Bakla Sayısı (adet)			Baklada Tane Sayısı (adet)			Bin Tane Ağırlığı (g)		
	2016	2017	Ortalama	2016	2017	Ortalama	2016	2017	Ortalama
IFLS 349	13.7	13.4	13.6 EFG	2.5	2.6	2.6 A-E	90.95	92.59	91.77 F-I
IFLS 257	14.3	14.3	14.3 C-F	2.4	2.5	2.5 A-E	95.24	94.47	94.86 EFG
IFLS 298	14.1	14.0	14.0 DEF	2.5	2.3	2.4 B-E	86.97	87.48	87.22 GHI
IFLS 206	12.6	12.5	12.5 FG	2.7	2.8	2.7 A-D	81.77	81.26	81.51 HI
GAP Mavisi	15.1	15.2	15.2 B-E	2.5	2.2	2.4 B-E	100.41	100.09	100.25 DEF
IFLS 968	15.8	16.1	15.9 A-D	2.4	2.5	2.4 B-E	115.67	115.66	115.67 ABC
Gürbüz-2001	15.1	15.3	15.2 B-E	2.8	2.7	2.7 A-D	89.36	90.52	89.94 F-I
Sel 666	13.5	15.1	14.3 C-F	2.5	2.6	2.5 A-E	104.67	106.02	105.35 CDE
Sel 668	14.1	13.5	13.8 DEF	2.6	2.4	2.5 A-E	86.95	87.86	87.40 GHI
Sel 676	14.3	14.2	14.3 C-F	2.5	2.3	2.4 B-E	88.73	89.38	89.06 F-I
Sel 681	13.1	15.0	14.1 DEF	2.5	2.7	2.6 A-E	107.89	109.33	108.61 BCD
Sel 702	15.5	15.1	15.3 B-E	2.4	2.1	2.3 CDE	112.39	113.36	112.87 BCD
Sel 706	14.7	16.1	15.4 A-E	2.7	2.2	2.4 B-E	112.35	113.86	113.10 BC
Sel 299	13.1	12.6	12.8 FG	2.7	3.2	2.9 AB	87.46	91.93	89.70 F-I
Sel 1837	11.5	11.1	11.3 G	2.2	2.1	2.1 DE	78.37	80.35	79.36 I
Sel 2267	15.5	17.2	16.4 ABC	2.7	3.1	2.9 ABC	117.36	118.42	117.89 ABC
Sel 2273	15.2	15.8	15.5 A-E	2.6	2.5	2.6 A-E	108.67	109.22	108.94 BCD
Sel 2329	14.1	14.0	14.1 DEF	2.9	2.5	2.7 A-D	91.47	92.78	92.12 FGH
Sel 385	13.7	13.8	13.8 DEF	3.0	3.0	3.0 AB	86.67	89.70	88.18 F-I
Sel 421	15.7	17.7	16.7 AB	2.7	2.8	2.8 A-D	117.84	118.85	118.34 AB
Sel 440	16.2	15.4	15.8 A-E	2.1	1.9	2.0 E	115.85	115.53	115.69 ABC
Sel 1794	17.1	18.2	17.7 A	2.4	2.2	2.3 B-E	124.96	126.78	125.87 A
ETH-24	13.4	14.7	14.0 DEF	3.0	3.2	3.1 A	107.02	106.89	106.95 B-E
ETH WIR-70	13.4	13.8	13.6 EFG	2.6	3.1	2.8 ABC	106.15	106.91	106.53 B-E
Ortalama	14.4	14.8	14.6	2.6	2.6	2.6	101.63	100.63	101.13
Önemlilik düzeyi	G**			G**			G**		
DK (%)	7.29			11.7			5.78		

<sup>1</sup>: Aynı sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık istatistiki açıdan önemli değildir, \*\*:  $p<0.01$  hata sınırları içerisinde önemlidir, DK: Değişim katsayısı, G: Genotip

### 3.9. Tohum Verimi

Yaygın mürdümük genotiplerinin tohum verimi değerlerine ait ortalamalarla yapılan varyans analizi sonucunda, genotipler arasında istatistiksel açıdan çok önemli ( $p<0.01$ ) farklılıklar belirlenmiştir. Yılların ortalamasına göre, en yüksek tohum verimi 194.5 kg/da ile



Sel 1794 genotipinde belirlenmiş olup; Sel 1794 genotipi ile IFLS 968, Sel 702, Sel 706, Sel 2267, Sel 2273, Sel 421 ve Sel 440 genotiplerine ait tohum verimi değerleri arasında farklılık istatistiki açıdan önemsiz bulunmuştur. En düşük tohum verimi değeri ise 101.3 kg/da ile Sel 1837 genotipinde tespit edilmiştir (Tablo 6). Yaygın mürdümük (*L. sativus* L.)’te tohum veriminin genotipler arasında önemli değişimler gösterdiği ve tohum veriminin 60.14-269.83 kg/da arasında değiştiği birçok araştırma bulgularında da rapor edilmiştir (Bucak, 1999; Sabancı ve Özpinar, 2000; Bayram ve ark., 2004; Gül ve ark., 2004; Kökten ve Bakoğlu, 2011; Karadağ ve ark., 2012; Seydoşoğlu ve ark., 2015). Tohum verimi yönünden genotipler arasındaki farklılığa, kullanılan materyallerin genotipik özelliklerin ve ekolojik faktörlerin etkili olduğu düşünülmektedir.

Genotip x yıl interaksyonu incelendiğinde; tohum veriminin genotipler ve yıllar arasında önemli değişimler gösterdiği, iklim ve toprak özelliklerinin farklılığına bağlı olarak bazı genotiplerin (Örneğin, Sel 1794, IFLS 968, IFLS 257, Gürbüz-2001) yıllar itibarıyla farklı performans sergilediği görülmüştür. Bu nedenle genotip x yıl interaksyonu istatistiksel açıdan  $p < 0.01$  düzeyinde önemli çıkmıştır (Tablo 6).

### 3.10. Biyolojik Verim

Biyolojik verim yönünden genotipler arasında istatistiksel açıdan çok önemli ( $p < 0.01$ ) farklılıklar belirlenmiştir. En yüksek biyolojik verim değeri 707.5 kg/da ile Sel 2329 genotipinde belirlenmiş olup, Sel 2329 genotipi ile IFLS 257, IFLS 298, Gürbüz-2001, Sel 706 ve ETH WIR-70 genotiplerine ait biyolojik verim değerleri arasında farklılık istatistiki açıdan önemsiz bulunmuştur. En düşük biyolojik verim değeri 444.8 kg/da ile IFLS 349 genotipinde tespit edilmiştir (Tablo 6).

Farklı ekolojilerde yapılan çalışmalarda biyolojik verimin, örneğin; İzmir-Menemen koşullarında 781-1188 kg/da (Sabancı ve Özpinar, 2000), Bursa ekolojik koşullarında 166.7-791.7 kg/da (Türk ve ark., 2007), Tokat-Kazova koşullarında 565.8-693.7 kg/da (Karadağ ve ark., 2012), İran ekolojisinde 350.4-584.2 kg/da (Ahmadi ve ark., 2015), Diyarbakır koşullarında 528.2-847.1 kg/da (Sayar ve Han, 2015) ve Elazığ ekolojik koşullarında 146.33-278.90 kg/da (Özdemir, 2016) arasında değişim gösterdiği rapor edilmiştir. Araştırmamız bulgularının literatürdeki bazı verilerle uyumlu, bazı sonuçlardan ise farklılık gösterdiği görülmektedir. Farklılığın nedeni olarak, kullanılan genotipler ya da denemelerin kurulu olduğu bölgenin ekolojik şartları ile ilgili olduğu düşünülmektedir.

Tablo 6. Yaygın Mürdümük Genotiplerinde Belirlenen Tohum Verimi, Biyolojik Verim ve Hasat İndeksine Ait Değerler<sup>1</sup>

Genotipler	Tohum Verimi (kg/da)			Biyolojik Verim (kg/da)			Hasat İndeksi (%)		
	2016	2017	Ortalama	2016	2017	Ortalama	2016	2017	Ortalama
IFLS 349	122.7 e-j	124.4 e-j	123.6 F-I	440.0	449.7	444.8 J	27.9 a-l	30.2 a-j	29.1 B-F
IFLS 257	159.7 a-ı	143.7 b-j	151.7 B-F	618.6	631.1	624.9 A-E	26.0 d-n	22.8 f-n	24.4 C-H
IFLS 298	155.6 b-ı	128.9 d-j	142.2 C-H	693.3	695.0	694.2 AB	23.7 e-n	19.7 k-n	21.7 GH
IFLS 206	120.0 f-j	106.7 ij	113.3 HI	592.6	595.1	593.9 C-F	20.3 k-n	18.0 mn	19.1 H
GAP Mavisi	151.6 b-ı	151.1 b-ı	151.3 B-F	639.4	638.0	638.7 A-D	25.1 d-n	23.8 e-n	24.5 C-H
IFLS 968	179.7 a-d	171.9 a-f	175.8 ABC	545.6	540.6	543.1 E-I	37.0 a	31.8 a-f	34.4 AB
Gürbüz-2001	168.9 a-f	139.6 c-j	154.2 B-F	669.0	671.5	670.2 ABC	26.9 b-n	20.8 j-n	23.9 D-H
Sel 666	149.3 b-ı	154.1 b-ı	151.7 B-F	601.9	605.2	603.5 C-F	26.2 d-n	26.2 d-n	26.2 C-G
Sel 668	147.0 b-j	127.4 d-j	137.2 D-H	586.7	592.2	589.4 C-G	25.1 d-n	21.5 h-n	23.3 E-H
Sel 676	131.3 c-j	130.4 c-j	130.8 E-I	503.7	502.6	503.2 G-J	26.1 d-n	25.9 d-n	26.0 C-G
Sel 681	119.3 f-j	157.0 b-ı	138.1 D-H	471.7	473.5	472.6 IJ	25.3 d-n	33.2 a-e	29.3 B-E
Sel 702	172.3 a-f	160.0 a-h	166.1 A-D	474.1	474.5	474.3 IJ	36.4 abc	36.5 ab	36.4 A
Sel 706	162.1 a-g	171.9 a-f	167.0 A-D	624.7	625.8	625.3 A-E	26.0 d-n	27.5 a-m	26.7 C-G
Sel 299	122.5 e-j	109.6 g-j	116.1 G-I	615.4	619.7	617.5 B-F	20.8 j-n	17.7 n	19.2 H
Sel 1837	108.1 hj	94.5 j	101.3 I	494.8	501.8	498.3 HIJ	24.9 d-n	18.9 k-n	21.9 GH
Sel 2267	140.3 c-j	182.2 a-c	161.3 A-E	535.2	538.2	536.7 F-I	26.2 d-n	33.9 a-d	30.1 BC
Sel 2273	174.2 a-e	174.8 a-e	174.5 ABC	579.3	574.7	577.0 D-H	30.8 a-ı	26.8 c-n	28.8 B-F
Sel 2329	129.2 c-j	128.1 d-j	128.7 E-I	702.2	712.8	707.5 A	18.6 lmn	18.0 mn	18.3 H
Sel 385	120.7 f-j	122.8 e-j	121.8 F-I	565.1	562.7	563.9 D-H	21.4 i-n	21.8 h-n	21.6 GH
Sel 421	164.6 a-f	195.6 ab	180.1 AB	589.6	589.9	589.7 C-G	27.9 a-l	33.2 a-e	30.5 ABC
Sel 440	149.2 b-ı	171.9 a-f	160.5 A-E	546.0	546.0	546.0 E-I	28.4 a-k	31.5 a-g	29.9 BCD
Sel 1794	178.7 a-d	210.4 a	194.5 A	580.7	584.1	582.4 D-H	31.0 a-h	36.0 abc	33.5 AB
ETH-24	141.9 c-j	157.0 b-ı	149.5 B-G	497.8	508.8	503.3 G-J	28.2 a-k	31.1 a-h	29.6 BCD
ETH WIR-70	131.3 c-j	154.1 b-ı	142.7 C-H	604.4	637.6	621.0 A-F	22.0 g-n	24.2 e-n	23.1 FGH
Ortalama	148.7	145.8	147.3	578.0	573.8	575.9	26.3	26.3	26.3
Önemlilik düzeyi	G**, GxY**			G**			G**, GxY**		
DK (%)	10.75			6.96			10.83		

<sup>1</sup>: Aynı grupta aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık istatistiki açıdan önemli değildir, \*\*:  $p < 0.01$  hata sınırları içerisinde önemlidir, DK: Değişim katsayısı

### 3.11. Hasat İndeksi

Farklı yaygın mürdümük genotiplerinde tespit edilen hasat indeksi (Hİ) değerleri ile yapılan istatistiki analizler sonucunda, hasat indeksi yönünden genotipler arasında istatistiksel açıdan çok önemli ( $p < 0.01$ ) farklılıklar belirlenmiştir. İki yılın ortalama verilerine

göre en yüksek Hİ % 36.4 ile Sel 702 genotipinde belirlenmiştir. Sel 702 genotipi ile IFLS 968, Sel 421 ve Sel 1794 genotiplerinin Hİ arasındaki farklılık istatistiki açıdan önemsiz bulunmuştur. En düşük Hİ ise % 18.3 ile Sel 2329 genotipinde saptanmıştır (Tablo 6).

Hasat indeksi yönünden elde edilen bulgular; Gül ve ark. (2004)'nın (% 26-44), Türk ve ark. (2007)'nin (% 5-82), Karadağ ve ark. (2012)'nin (% 27.66-31.70), Ahmadi ve ark. (2015)'nin (% 17.84-39.19), Sayar ve Han (2015)'in (% 32.0-40.87) ve Özdemir (2016)'in (% 27.27-40.87) bulguları ile benzer gösterdiği söylenebilir.

Araştırmada, genotip x yıl interaksyonu istatistiksel açıdan çok önemli ( $p < 0.01$ ) bulunmuştur. Genotiplere ve yıllara göre, en yüksek Hİ % 37.0 ile araştırmanın birinci yılında, en düşük Hİ ise % 17.7 ile çalışmanın ikinci yılında tespit edilmiştir (Tablo 6).

## 4. Sonuç

Siirt ili yarı kurak iklim koşullarında bazı yaygın mürdümük (*L. sativus* L.) genotiplerini tescilli çeşitlerle kıyaslamak suretiyle verim özelliklerinin belirlendiği bu çalışmada, incelenen genotipler içerisinde ümitvar olanlar bulunmaktadır. İki yıl süreyle yürütülen bu araştırma sonuçlarına göre; doğal bitki boyu, ana sap uzunluğu, ana sap sayısı gibi verime etkili parametreler, yeşil ot verimi ve kuru ot verimi değerleri ile birlikte değerlendirildiğinde, en yüksek ve/veya yüksek değerler gösteren grupta yer almalarından dolayı “ETH WIR-70” ve “IFLS 257” genotiplerinin öne çıktığını söylemek mümkündür. Buna ek olarak; IFLS 298, IFLS 968, Sel 666, Sel 668, Sel 681, Sel 702, Sel 706, Sel 2273, Sel 2329, Sel 421 ve Sel 1794 genotipleri ot verimi bakımından tescilli çeşit olan Gürbüz-2001 ve GAP Mavisii çeşitleri ile benzer performanslar göstermesi sebebiyle, ümitvar genotipler olarak dikkati çekmiştir.

Tohum üretimi amacıyla öne çıkan genotip “Sel 1794” genotipi olmuştur. Bu genotip, bitkide bakla sayısı ve bin tane ağırlığı gibi tohum verimine doğrudan etkili olan özellikler yönünden en üstün grupta yer almış ve tohum verimi bakımından da en verimli genotip olarak ortaya çıkmıştır. Araştırmada ayrıca, IFLS 968, Sel 702, Sel 706, Sel 2273, Sel 421 ve Sel 440 genotipleri tohum verimi yönünden tescilli çeşitlerden daha yüksek değerler göstermiş ve bu yönüyle de tohumluk için önemli ıslah materyalleri olabileceği düşünülmektedir.

Yaygın mürdümük bitkisinin Siirt koşullarında yazlık olarak başarılı bir şekilde yetiştiriciliğinin yapılabileceği görülmüştür. Araştırma sonucunda öne çıkan ve ümitvar olan genotiplerin tarla denemelerinin devam ettirilmesinin uygun olacağı ve yapılacak çalışmalar sonucunda bölgeye uygun tescilli çeşitler geliştirebileceği ön görülmektedir. Böylece, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde üretimi yaygın olmayan mürdümük bitkisinin bölge tarımına kazandırılmasına ve geniş alanlarda üretiminin yapılmasına katkı sağlanacağı düşünülmektedir.

## Teşekkür

Bu çalışmanın ot verimi ve ilgili parametrelerine ait ilk yıl verileri, 21-22 Haziran 2018 tarihlerinde Gaziantep'te düzenlenen UMTEB-III. Uluslararası Mesleki ve Teknik Bilimler Kongresi'nde sözlü bildiri olarak sunulmuş olup, adı geçen kongre bildiriler kitabında özet metni yayınlanmıştır.

## Kaynakça

- Abd El-Moneim, A. M., & Cocks, P. S. (1993). Adaptation and yield stability of selected lines of *Lathyrus* spp. under rainfed conditions in West Asia. *Euphytica*, 66, 89-97.
- Açıkgöz, N., & Açıkgöz, N. (2001). Tarımsal araştırmaların istatistiki değerlendirilmesinde yapılan bazı hatalar: I. Tek faktörlü denemeler. *Anadolu*, 11(1), 135-147.
- Ahmadi, J., Vaezi, B., & Pour-Aboughadareh, A. (2015). Assessment of heritability and relationships among agronomic characters in grass pea (*Lathyrus sativus* L.) under rainfed conditions. *Biharean Biologist*, 9(1), 29-34.
- Allkin, R., MacFarlane, T. D., White, R. J., Bisby, F. A., & Adey, M. E. (1985). The Geographical Distribution of *Lathyrus*: Issue 1. *Viciae Database Project Publication No. 6*, University of Southampton.
- Andiç, C., Akdeniz, H., Yılmaz, İ., & Terzioğlu, Ö. (1996). Van kıraç şartlarında adi mürdümük hatlarının (*Lathyrus sativus* L.) ot verimi üzerinde bir araştırma. *Türkiye 3. Çayır, Mer'a ve Yem Bitkileri Kongresi*, Erzurum.
- Anonim. (2017). Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Siirt İli İklim Verileri. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=SIIRT>, Erişim tarihi: 28.11.2019.
- Anonim. (2019). Baklagil Yem Bitkileri Tarımsal Değerleri Ölçme Denemeleri Teknik Talimatı. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Balabanlı, C., & Kara, B. (2003). Mürdümük hatlarının (*Lathyrus sativus* L.) Isparta koşullarında bazı agronomik özellikleri ile verim potansiyellerinin belirlenmesi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 12(1-2), 57-63.
- Başaran, U., Acar, Z., Önal Aşçı, Ö., Mut, H., & Ayan, İ. (2007). Mürdümük (*Lathyrus* sp.) türlerinin önemi, tarımda kullanım olanakları ve zararlı madde içerikleri. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(1), 139-148.
- Bayram, G., Türk, M., Budaklı, E., & Çelik, N. (2004). Bursa ekolojik koşullarında yetiştirilen yaygın mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) hatlarının verim ve adaptasyonu üzerinde bir araştırma. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(2), 73-84.
- Bucak, B. (1999). Harran Ovası koşullarında kışlık olarak yetiştirilen yerel mürdümük (*Lathyrus* spp.) hatlarında botanik ve tarımsal yönlerinin belirlenmesi üzerinde araştırmalar. (Doktora tezi), Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, Türkiye.
- Bucak, B. (2009). Kıraç koşullarında mürdümük (*Lathyrus* spp.) hatlarının tohum veriminin belirlenmesi. *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13(4), 57-65.

- Çakmakçı, S., & Aydınoglu, B. (2002). Akdeniz sahil kuşağında mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) bitkisinde farklı sıra arası ve gübre dozlarının ot verimine etkisi. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 15(1), 95-99.
- Fıncioğlu, H. K., Ünal, S., & Özpınar, H. (2004). Grass pea (*Lathyrus sativus* L.) as a feed crop in mixed farming systems in Turkey. *Journal of Field Crops Central Research Institute*, 13(1-2), 29-36.
- Gedik, A. (2007). Bazı mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) varyete, hat ve çeşitleri arasındaki morfolojik, tarımsal ve moleküler farklılıkların saptanması üzerine bir araştırma. (Yüksek lisans tezi), Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye.
- Grela, E. R., Rybiński, W., Matras, J., & Sobolewska, S. (2012). Variability of phenotypic and morphological characteristics of some *Lathyrus sativus* L. and *Lathyrus cicera* L. accessions and nutritional traits of their seeds. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 59(8), 1687-1703.
- Gül, D., Sümerli, M., & Yılmaz, Y. (2004). Diyarbakır koşullarında bazı mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) hatlarının verim ve verim unsurlarının belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 10(4), 416-421.
- Gündüz, G. M. (2012). Köy popülasyonu yaygın mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) çeşitlerinin tohum verimi ve bazı bitkisel özellikleri. (Yüksek lisans tezi), Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye.
- Hanbury, C. D., White, C. L., Mullan, B. P., & Siddique, K. H. M. (2000). A review of the potential of *Lathyrus sativus* L. and *L. cicera* L. grain for use as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 87, 1-27.
- Karadağ, Y., & İptaş, S. (2007, Haziran). Tokat ekolojik koşullarında bazı mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) hat ve varyetelerinin agronomik potansiyelleri üzerine bir araştırma. *Türkiye VII. Tarla Bitkileri Kongresi*, Erzurum.
- Karadağ, Y., İptaş, S., & Yavuz, M. (2004). Agronomic potential of grasspea (*Lathyrus sativus* L.) under rainfed condition in semi-arid regions of Turkey. *Asian Journal of Plant Sciences*, 3(2), 151-155.
- Karadağ, Y., Özkurt, M., Akbay, S., & Kır, H. (2012). Tokat-Kazova ekolojik koşullarında bazı mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) hatlarının verim ve verim özelliklerinin belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 5(2), 11-13.
- Kılınç, M., & Özen, F. (1988a). A5 ve A6 karelerinden yeni floristik kayıtlar. *OMÜ Fen Dergisi*, 1(2), 75-88.
- Kılınç, M., & Özen, F. (1988b). Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kurupelit Kampus alanı ve çevresinin florası. *OMÜ Fen Dergisi*, 1(2), 97-121.
- Kökten, K., & Bakoğlu, A. (2011). Elazığ koşullarında mürdümük (*Lathyrus sativus* L.)'te farklı sıra arasının tohum verimi ve verim öğeleri üzerine etkisi. *Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(1), 37-42.
- Kumar, S., & Dubey, A. K. (2003). Genetic diversity among induced mutants of grasspea (*Lathyrus sativus* L.). *Lathyrus Lathyrism Newsletter*, 3, 15-17.
- Kuo, Y. H., Bau, H. M., Quemener, B., Khan, J. K., & Lambein, F. (1995). Solid-state fermentation of *Lathyrus sativus* seeds using *Aspergillus oryzae* and *Rhizopus oligosporus* sp. T-3 to eliminate the neurotoxin ODAP without loss of nutritional value. *J. Sci. Food Agric.*, 69, 81-89.
- Kutbay, H. G., Kılınç, M., & Karaer, F. (1995). Nebyan Dağı (Samsun/Bafra) florası. *Turk. J. of Botany*, 19, 345-371.
- Milczak, M., Pedinski, M., Mnicfiowska, H., Szwed-Urbas, K., & Rybinski, W. (2001). Creative breeding of grasspea (*Lathyrus sativus* L.) in Poland. *Lathyrus Lathyrism Newsletter*, 2, 85-88.
- Öten, M., Kiremitçi, S., & Erdurmuş, C. (2017). Antalya doğal florasından toplanan bazı mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) hatlarının verim özelliklerinin belirlenmesi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 54(1), 17-26.
- Özdemir, S. (2016). Elazığ koşullarında bazı mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) genotiplerinin verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. (Yüksek lisans tezi), Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bingöl, Türkiye.
- Pekşen, E. (2005). Samsun koşullarında bazı fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) genotiplerinin tane verimi ve verimle ilgili özellikler bakımından karşılaştırılması. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(3), 88-95.
- Polignano, G. B., Bisignano, V., Tomaselli, V., Ugenti, P., Alba, V., & Della Gatta, C. (2009). Genotype × environment interaction in grass pea (*Lathyrus sativus* L.) lines. *International Journal of Agronomy*, Article ID 898396, doi:10.1155/2009/898396.
- Rybinski, W., Szot, B., & Rusinek, R. (2008). Estimation of morphological traits and mechanical properties of grasspea seeds (*Lathyrus sativus* L.) originating from EU countries. *International Agrophysics*, 22, 261-275.
- Sabancı, O. C. & Özpınar, H. (2000). Bazı yem bitkilerinin Menemen koşullarına adaptasyonları üzerine araştırmalar: II. Mürdümük (*Lathyrus sativus* L.). *Anadolu Dergisi*, 10(1), 41-45.
- Sayar, M. S., & Han, Y. (2015). Mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) hatlarının tohum verimi ve verim bileşenlerinin belirlenmesi ve GGE biplot analiz yöntemiyle değerlendirilmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 21, 78-92.
- Sayar, M. S., Han, Y., Seydoşoğlu, S., & Başbağ, M. (2013, Eylül). Diyarbakır ekolojik koşullarında bazı mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) hatlarının ot verimi, ot verimini etkileyen özellikler ile özellikler arası ilişkilerin belirlenmesi. *10. Tarla Bitkileri Kongresi*, Konya.
- Seydoşoğlu, S., Saruhan, V., Kökten, K., & Karadağ, Y. (2015). Diyarbakır ekolojik koşullarında bazı mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) genotiplerinin verim ve verim unsurlarının belirlenmesi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 32(3), 98-109.
- Şehirli, S. (1980). Bodur Fasulyede Ekim Sıklığının Verimle İlgili Bazı Karakterler Üzerine Etkisi. A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları: 738, Bilimsel Araştırma ve İncelemeler: 429, Ankara.
- Tadesse, W., & Bekele, E. (2003). Variation and association of morphological and biochemical characteristics in grasspea (*Lathyrus sativus* L.). *Euphytica*, 130, 315-324.
- Talukdar, D., & Biswas, A. K. (2008). Variability, heritability and scope of selection for some quantitative traits in induced mutant lines of grass pea (*Lathyrus sativus* L.). *International Journal of Plant Sciences*, 3(2), 528-530.
- Tavoletti, S., Tommarini, L., Crino, P., & Granati, E. (2005). Collection and evaluation of grasspea (*Lathyrus sativus* L.) germplasm of central Italy. *Plant Breeding*, 124, 388-391.

- Tekele-Haimanot, R., Kidane, Y., Wuhib, E., Kalissa, A., Alemu, T., Zein, Z. A., & Spencer, P.S. (1990). Lathyrism in rural Northwestern Ethiopia: A highly prevalent neurotoxic disorder. *Int. J. Epidemiol.*, *19*, 664-672.
- Tenikecier, H. S., Orak, A., Gürbüz, M. A., & ubuk, M.G. (2017). Trakya Bölgesi koşullarında bazı mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) eşit ve poplasyonlarının performanslarının belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi*, *20*(zel Sayı), 102-108.
- Türk, M., Albayrak, S., & elik, N. (2007). Estimates of broad-sense heritability for seed yield and yield components of grasspea (*Lathyrus sativus* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, *31*, 155-158.



# Siyah (*Ficus carica*) ve Beyaz (*Ficus alba*) İncirlerden Elde Edilen İncir Sütlerinin Antibakteriyel ve Antifungal etkileri

Gökhan Akarca<sup>1\*</sup>, Oktay Tomar<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5055-2722)

<sup>2</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5761-7157)

(İlk Geliş Tarihi 28 Kasım 2019 ve Kabul Tarihi 30 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.652029)

**ATIF/REFERENCE:** Akarca, G. & Tomar, O. (2019). Siyah (*Ficus carica*) ve Beyaz (*Ficus alba*) İncirlerden Elde Edilen İncir Sütlerinin Antibakteriyel ve Antifungal etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1069-1074.

## Öz

Bu çalışmada, siyah (*Ficus carica*) ve beyaz incir (*Ficus alba*) türlerinden elde edilen incir sütlerinin, bazı gıda kaynaklı patojen bakteri ve küf türleri üzerindeki antibakteriyel ve antifungal etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Araştırma sonucunda en fazla antibakteriyel etki siyah incirin sütünde 17.95 mm zon çapı ile *Escherichia coli* üzerinde olduğu, buna karşın en düşük etkinin ise; beyaz incirin sütünde 9.25 mm zon çapı ile *Staphylococcus aureus*' a karşı olduğu belirlenmiştir (P<0.05). En yüksek antifungal etkiyi ise; yine siyah incirin sütünde 19.25 mm zon çapı ile *Rhizopus nigrificans*'a karşı göstermiştir. Bunu sırasıyla 17.20 ve 16.72 mm zon çapları ile *Aspergillus flavus* ve *Mucor racemosus*' un izlediği belirlenmiştir (P<0.05). En düşük antifungal etki ise; beyaz incir sütünde 8.92 mm zon çapı ile *Mucor rasemosus* üzerinde gösterdiği tespit edilmiştir (P<0.05). Ayrıca çalışma sonucunda; siyah incir sütününün beyaz incir sütüne kıyasla daha yüksek antibakteriyel ve antifungal etkisinin olduğu ortaya konulmuştur (P<0.05).

**Anahtar Kelimeler:** *Ficus carica*, *Ficus alba*, İncir sütü, Antibakteriyel, Antifungal.

## Antibacterial and Antifungal Effects of Fig Milk Obtained from Black (*Ficus carica*) and White (*Ficus alba*) Figs

### Abstract

In this study, it is aimed to determine antibacterial and antifungal effects of fig milk obtained from black (*Ficus carica*) and white fig (*Ficus alba*) species on some foodborne pathogenic bacteria and mold species. As a result of the research, the highest antibacterial effect was found on *Escherichia coli* with 17.95 mm zone diameter in black fig milk, whereas the lowest effect was found against *Staphylococcus aureus* with 9.25 mm zone diameter in white fig milk (P<0.05). The black figs milk against *Rhizopus nigrificans* with 19.25 mm zone diameter has again the highest antifungal effect. This is followed by *Aspergillus flavus* and *Mucor racemosus* with 17.20 and 16.72 mm zone diameters, respectively (P<0.05). The lowest antifungal effect; white fig milk with 8.92 mm zone diameter on *Mucor rasemosus* was determined (P<0.05). In addition, as a result of the study; it was found that black fig milk has higher antibacterial and antifungal effects compared to white fig milk (P<0.05).

**Keywords:** *Ficus carica*, *Ficus alba*, Fig milk, Antibacterial, Antifungal.

\* Sorumlu Yazar: Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye, ORCID: 0000-0002-5055-2722, [gakarca@aku.edu.tr](mailto:gakarca@aku.edu.tr)



## 1. Giriş

İncir (*Ficus*), *Moraceae* familyasına ait bir tür olup, Dünyada kültürü yapılan en eski meyvelerden birisidir (Solomon ve ark, 2006). Özellikle ılık ve kuru iklimlerde, yaygın olarak yetiştirilen yaygın bir türdür (Slavin, 2006). Koyu mordan, yeşil-sarıya değişen renkte meyve rengine sahip olup, bütün olarak çiğ ya da kurutulmuş olarak tüketilmektedir. Taze olarak tüketildiğinde genellikle kabuk kısmı soyulup atılmakta sadece iç, etli kısmı yenilmektedir (Su ve ark, 2002).

İncir özellikle vitaminler ve mineraller açısından çok iyi bir kaynaktır. 100 g kuru incir meyvesinin tüketilmesi ile insan vücudunun günlük gereksinimi olan demirin %30'u, kalsiyumun %15,8'i, potasyumun %14'ü, B1 vitamininin (tiamin) %14'ü ve B2 vitamininin (riboflavin) %7,1'si karşılanabilmektedir. İncir sodyum bakımından ise fakir olup, kolesterol içermez (Vinson ve ark, 2005; Joseph & Raj, 2011). İncir en çok aspartik asit ve glutamin olmak üzere, 17 tür amino asidi içermektedir (Lianju ve ark, 2003). İncir ayrıca, flavonoidler, polifenol ve arabinoz,  $\beta$ -amirinler,  $\beta$ -karotinler, glikozitler,  $\beta$ -setosteroller ve ksantotoksol gibi bazı biyoaktif bileşikler ile (Gilani ve ark, 2008) proantosiyanidinler gibi fenolik bileşiklerin mükemmel bir kaynağıdır (Slatnar, 2011).

İncir sütü; incir ağacının genç dallarından ve ham meyvesinin koparılmasıyla meyve sapından akan beyaz renkli süt görünümünde viskoz bir sıvıdır. Asidik özellikte olan bu sıvı, özellikle geleneksel tedavide halk arasında böbrek kumu dökmede, diş eti yara ve kanamalarında, nasır ve siğillerin tedavisi ile ciltte oluşan lekeleri giderme gibi, pek çok hastalığın tedavisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Say ve ark, 2012; Say ve Güzeler, 2016).

Bu çalışmada; siyah (*Ficus carica*) ve beyaz incir (*Ficus alba*) türlerinden elde edilen incir sütlerinin bazı gıda kaynaklı patojen bakteri ve küf türleri üzerindeki antibakteriyel ve antifungal etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Araştırmada Siyah (*Ficus carica*) ve beyaz (*Ficus alba*) olmak üzere iki farklı incir türünden elde edilen incir sütleri kullanılmıştır. İncir sütleri, Temmuz-Ağustos ayları arasında Aydın ili ve ilçelerine bağlı köylerdeki incir bahçelerinden kopartılan ham meyvelerinin sap kısmından aktılarak elde edilmiştir. Elde edilen sütler analizleri tamamlanmaya kadar ağzı kapalı cam şişeler içerisinde, karanlık ortamda ve soğuk şartlar altında (4 °C) muhafaza edilmişlerdir.

### 2.2. Araştırmada Kullanılan Mikroorganizmalar

Çalışmada test bakterileri olarak *Escherichia coli* (ATCC 25922), *Listeria monocytogenes* (ATCC 51774), *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538), *Salmonella pullorum* (ATCC 19945) ve *Shigella dysenteriae* ATCC 13313, test küfleri olarak ise; *Aspergillus flavus* (ATCC 204304), *Penicillium citrinum* (ATCC 38065), *Botrytis cinerea* (ATCC 26943), *Mucor racemosus* (ATCC 42647) ve *Rhizopus nigricans* (ATCC 6227) türleri kullanılmıştır.

### 2.3. İncir Sütleri İçeren Disklerin Hazırlanması

Taze olarak soğuk koşullarda muhafaza edilen iki ayrı incir sütü örneğinden ayrı ayrı 200'er  $\mu$ L steril uçlu otomatik pipet (Research Plus, Eppendorf) yardımı ile, petri kutuları (Steril, 90 x 15, Fıratmed, Türkiye) içerisine alınarak, üzerine boş antibiyotik diskleri (Bio-Disk 316010001) yerleştirilmiştir. Disklerin incir sütlerini emmesi için petri kutuları kapakları kapalı şekilde 60 dk süreyle 4 °C'de buzdolabında (Arçelik, 554271, Türkiye) bekletilmiştir. Ardından diskler laminar akışlı kabinde (Cryste, Puricube 1200) kurutulmuştur.

### 2.4. Disklerin Antibakteriyel ve Antifungal Aktivite Testlerine Hazırlanması

Antibakteriyel aktivitenin belirlenmesinde Akarca (2019), antifungal aktivitenin tayininde ise; Alastruey-Izquierdo ve ark, (2015) tarafından belirtilen yöntemler modifiye edilerek kullanılmıştır.

Antibakteriyel aktivite tayininde spesifik besiyerlerinde (Tablo 1) üretilmiş genç bakteri kültürlerinden (24-48 saatlik), antifungal aktivitenin tayininde ise; Malt Extract Agar (Merck, 1.05398, Almanya) besiyerinde 25 °C'de 5-7 günlük genç kültürlerden, steril bir öze yardımıyla alınarak steril sodyum klorür (%0,9) (Merck, 115525, Almanya) içinde süspanse edilmiştir. Her iki analizde de kullanılan suşlarının yoğunluğu McFarland Standartları (0.5) olacak şekilde densinometre (Biosan, 1B, Türkiye) kullanılarak ayarlanmıştır. Yoğunluğu ayarlanan inokulumlar transport swap (Fıratmed, Türkiye) yardımı ile alınarak antibakteriyel aktivite analizi için yeni hazırlanmış 25 °C'de, katkısız Muller Hinton Agar (Merck 1,05437, Almanya) (MHA), antifungal aktivite tayini için ise; 25 °C'de, %2'lik glikoz ve 0.5 mg/L metilen mavisile modifiye edilmiş Muller Muller Hinton Agar (Merck, 1,05437, Almanya) yüzeyine homojen bir şekilde inokule edilmiş ve 10 dakika besiyeri tarafından inokulasyonların emilmesi için beklenmiştir (Bauer ve ark, 1966; Akarca, 2019; Akarca ve ark, 2019). Ardından her birisine 200  $\mu$ L incir sütü emdirilmiş ve kurutulmuş boş antibiyogram disklerden (Bio-Disk 316010001, Türkiye) besiyerlerinin yüzeyine oluşacak zonların bir birisine değmeyeceği uzaklıkta olacak

şekilde yerleştirilmiş ve petriyer antibakteriyel aktivite analizi için EUCAST (2018) de belirtilen koşullarda (Tablo 2), antifungal aktivite tayininde ise; 25 °C'de 5-7 gün süre ile inkubatorlerde (Incucell, MMM, Almanya) inkubasyona bırakılmıştır. Süre bitiminde tüm petri kutularında oluşan zonlar, yeterli günışığı altında digital bir kumpas (Mitutoyo, 500-181-30, Japonya) yardımıyla ölçülmüştür.

Tablo 1. Test Bakterilerinin Üretildiği Besiyeleri ve Koşulları

Bakteriler	Kullanılan Besiyeri	İnkubasyon Koşulları	Kullanılan Metot
<i>Listeria monocytogenes</i>	Oxford (Merck 1.07004)	35±1 °C, 24-48 h -%5 CO <sub>2</sub> ortamda	ISO 11290-1:2017 (ISO, 2017a) ISO 11290-2:2017 (ISO 2017b) ISO 16649-1:2001 (ISO, 2001a) ISO 16649-2:2001(ISO, 2001b) ISO 16649-3:2015 (ISO, 2015a)
<i>Escherichia coli</i>	Chromocult TBX Agar (Merck 1.16122)	37 °C, 24-48 h – aerobik	ISO 6579-1:2017 (Flowers ve ark, 1992, ISO, 2017c)
<i>Salmonella pullorum</i>	Brilliant Green Phenol Red Lactose Sucrose Agar (Merck 1.10747)	37 °C, 24-48 h – aerobik	ISO 6888-1 (ISO, 1999)
<i>Staphylococcus aureus</i>	Baird Parker Agar (Merck 1.05406)	37 °C, 24-48 h – aerobik	ISO 21567:2004 (ISO, 2015b)
<i>Shigella dysenteriae</i>	Endo Agar (Merck 1.04044)	37 °C, 24-48 h – aerobik	

Tablo 2. Antibakteriyel Aktivite Tayininde Kullanılan Bakterilere Ait İnkubasyon Koşulları

Bakteriler	İnkubasyon Koşulları	Kullanılan Method
<i>Escherichia coli</i> <i>Shigella dysenteriae</i> <i>Staphylococcus aureus</i> <i>Salmonella pullorum</i>	35±1 °C aerobik, 16-20 h.	Eucast.org (EUCAST, 2018)
<i>Listeria monocytogenes</i>	35±1 °C, %5 CO <sub>2</sub> ortamda, 16-20 h.	

## 2.5. İstatistiksel Analizler

Araştırmada elde edilen sonuçlar, SPSS V 23.0.0 istatistik paket programı kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışma çift tekerrürlü ve çift paralel olarak yapılmış, analizler sonucu elde edilen veriler varyans analizi tekniği uygulanarak değerlendirilmiştir. Oluşan farklılıkların düzeyi ise, Duncan testi ile (P<0.05) belirlenmiştir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

İki farklı incirden elde edilen incir sütünün, beş farklı gıda kaynaklı bakteri üzerindeki antibakteriyel etkisi Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. İki Farklı İncir Sütünün Araştırmada Kullanılan Bakteriler Üzerindeki Antibakteriyel Etkisi (mm Zon Çapı)

Bakteri Türü	Antibakteriyel Etki (mm zon çapı)	
	Siyah İncir	Beyaz İncir
<i>Staphylococcus aureus</i>	12.29±0.65 <sup>Ac</sup>	9.25±0.89 <sup>Bb</sup>
<i>Salmonella pullorum</i>	15.60±1.29 <sup>Aab</sup>	11.75±1.11 <sup>Bab</sup>
<i>Listeria monocytogenes</i>	13.89±1.54 <sup>Ac</sup>	10.50±0.58 <sup>Bab</sup>
<i>Escherichia coli</i>	17.95±0.57 <sup>Aa</sup>	11.05±0.83 <sup>Bab</sup>
<i>Shigella dysenteriae</i>	14.67±0.71 <sup>Aab</sup>	13.11±0.94 <sup>Ba</sup>

a - c (↓): Aynı harfleri taşıyan ortalamalar arasında fark istatistiksel olarak önemli değildir (p>0.05).

A - B (→): Aynı harfleri taşıyan ortalamalar arasında fark istatistiksel olarak önemli değildir (p>0.05).

En fazla antibakteriyel etkinin, siyah incirden (*Ficus carica*) elde edilen sütünde 17.95 mm zon çapı ile *Escherichia coli* üzerinde olduğu, buna karşın en düşük etkinin ise; beyaz incirden (*Ficus alba*) elde edilen incir sütünde 9.25 mm zon çapı ile *Staphylococcus aureus*'a karşı olduğu belirlenmiştir (P<0.05).

Siyah incirden elde edilen incir sütünün, beyaz incirden elde edilene kıyasla araştırmada kullanılan gıda kaynaklı beş farklı bakteri üzerinde daha yüksek antibakteriyel etki gösterdiği ortaya konulmuştur (Tablo 4; P<0.05).

Jeong ve ark, (2009) çalışmalarında araştırma sonuçlarımıza paralel şekilde siyah incirin (*Ficus carica*) metanol ekstraktının özellikle ağız kökenli bakteriler üzerinde yoğun antibakteriyel etki gösterdiği belirtmişlerdir.

Tablo 4. İki Farklı İncirden Elde Edilen Sütlerin Antibakteriyel ve Antifungal Etkilerinin Değerlendirilmesi

Bakteri Türü	Antibakteriyel Etki	
	Siyah İncir	Beyaz İncir
<i>Staphylococcus aureus</i>	++	+
<i>Salmonella pullorum</i>	++	+
<i>Listeria monocytogenes</i>	++	+
<i>Escherichia coli</i>	++	+
<i>Shigella dysenteriae</i>	++	++

Küf Türü	Antifungal Etki	
	Siyah İncir	Beyaz İncir
<i>Aspergillus flavus</i>	++	+
<i>Penicillium citrinum</i>	++	++
<i>Botrytis cinerea</i>	++	++
<i>Mucor racemosus</i>	++	-
<i>Rhizopus nigricans</i>	+++	++

7-9 mm zon çapı: -, 9-12 mm zon çapı: +, 12-18 mm zon çapı: ++, >18 mm zon çapı: +++

Yapılan varyans analiz sonuçlarına göre (Tablo 5) incir çeşidi etkileşiminin P<0.0001, mikroorganizma türü etkileşiminin ise, P<0.05 düzeyinde anlamlı olduğu belirlenmiştir.

Tablo 5. Mikroorganizma Türleri, İncir Çeşidi ve Mikroorganizma Türleri x İncir Çeşidi Etkileşimlerinin Varyans Analiz Sonuçları (P Değerleri)

	Mikroorganizma Türü	İncir Çeşidi	Mikroorganizma türü x İncir Çeşidi
Antibakteriyel Etki	0.17*	<0.0001***	0.147
Antifungal Etki	0.04*	<0.0001***	0.06

\*P<0.05, \*\*P<0.01, \*\*\*P<0.0001, ns: İstatistiksel Açından Önemli Değil.

Beş farklı gıda kaynaklı küf üzerinde iki farklı incirden elde edilen incir sütünün antifungal etkisi Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. İki Farklı İncir Sütünün Araştırmada Kullanılan Küfler Üzerindeki Antifungal Etkisi (mm Zon Çapı)

Küf Türü	Antifungal Etki (mm zon çapı)	
	Siyah İncir	Beyaz İncir
<i>Aspergillus flavus</i>	17.20±1.07 <sup>Aab</sup>	10.35±0.68 <sup>Bb</sup>
<i>Penicillium citrinum</i>	15.95±0.47 <sup>Aab</sup>	12.91±0.34 <sup>Ba</sup>
<i>Botrytis cinerea</i>	13.87±1.25 <sup>Ab</sup>	13.29±0.84 <sup>Aa</sup>
<i>Mucor racemosus</i>	16.72±0.53 <sup>Aab</sup>	8.92±0.3 <sup>Bb</sup>
<i>Rhizopus nigricans</i>	19.25±0.97 <sup>Aa</sup>	14.25±0.79 <sup>Ba</sup>

a - c (↓): Aynı harfleri taşıyan ortalamalar arasında fark istatistiksel olarak önemli değildir (p>0.05).

A - B (→): Aynı harfleri taşıyan ortalamalar arasında fark istatistiksel olarak önemli değildir (p>0.05).

Araştırma sonucunda; en yüksek antifungal etkiyi siyah incir (*Ficus carica*)'den elde edilen incir sütünün, 19.25 mm zon çapı ile *Rhizopus nigricans* üzerinde gösterdiği, bunu sırasıyla 17.20 ve 16.72 mm zon çapları ile *Aspergillus flavus* ve *Mucor racemosus*'un ve izlediği belirlenmiştir (P<0.05). Araştırma sonucunda en düşük antifungal etkiyi ise; beyaz incirden (*Ficus alba*) elde edilen incir sütünün 8.92 mm zon çapı ile *Mucor rasemosus* üzerinde gösterdiği tespit edilmiştir (P<0.05). Ayrıca, siyah incirden elde edilen incir sütünün, beyaz incirden elde edilene kıyasla beş farklı küf türü üzerinde daha yüksek antifungal etki gösterdiği belirlenmiştir (Tablo 4; P<0.05). Yapılan varyans analiz sonuçlarına göre (Tablo 5) incir çeşidi etkileşiminin P<0.0001, Mikroorganizma türü etkileşiminin ise P<0.05 düzeyinde anlamlı olduğu belirlenmiştir.

Aref ve ark, (2010) araştırma sonuçlarımıza benzer şekilde *Ficus carica* (Siyah incir) etanol ekstraktının *Candida albicans* üzerinde yüksek derecede etkili antifungal özelliğinin olduğunu bildirmişlerdir.

#### 4. Sonuç

İncir sütünün patojen bakteriler ve küfler üzerindeki etkileri araştırılan bu çalışmada yüksek antimikrobiyal etkilere sahip olduğu ortaya konulmuştur. Özellikle siyah incirden (*Ficus carica*) elde edilen sütün, beyaz incirden (*Ficus alba*) elde edilene kıyasla çok daha güçlü antibakteriyel ve antifungal özellik gösterdiği tespit edilmiştir.

Bakterilerin günümüzde kullanılan antibiyotiklere karşı gösterdiği direnç her geçen gün daha da artmakta, alternatif tıp olarak adlandırılan bitkiler kullanılarak uygulanan tedavilere verilen önem ise artış göstermektedir. Son yıllarda birçok baharat ve bitkinin farklı kısımlarından elde edilen preparatların antimikrobiyal özelliklerinin araştırılması üzerinde yapılan çalışmalarda olumlu sonuçlar alınmıştır.

Araştırma ile elde edilen veriler değerlendirildiğinde, incir sütünün bu anlamda iyi bir kaynak olacağı açıktır. Doğal, bol bulunan, ucuz ve her kesim tarafından tanınan bir ürün olması, inciri alternatiflerine kıyasla avantajlı kılmaktadır.

#### Kaynakça

- Akarca, G. (2019). Composition and antibacterial effect on food borne pathogens of Hibiscus surrattensis *L. calyces* essential oil. *Industrial Crops & Products*, 137, 285-289. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.05.043>
- Akarca, G., Tomar, O. & İstek, Ö. (2019). Determination of apricot tree resin extracted in different solvents for antimicrobial effect. *2nd International Health Sciences and Life Congress (IHS LC 2019)*, P: 1194-1203, 24-27 Nisan 2019, Burdur/Turkey.
- Alastruey-Izquierdo, A., Melhem, M. S., Bonfietti, L. X. & Rodriguez-Tudela, J. L. (2015). Susceptibility test for fungi: Clinical and laboratorial correlations in medical mycology. *Rev Inst Med Trop Sao Paulo*, 57(19), 57-64. <https://doi.org/10.1590/s0036-46652015000700011>.
- Aref, H. L., Salah, K. B. H., Chaumont, J. P., Fekih, A., Aouni, M. & Said, K. (2010). In vitro antimicrobial activity of four *Ficus carica* latex fractions against resistant human pathogens (antimicrobial activity of *Ficus carica* latex). *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, 23(1), 53-58.
- Bauer, A. W., Kirby, W. M. M., Sherris, J. C. & Turck, M. (1966). Antibiotic susceptibility testing by a standardized single disk method. *Am J Clin Pathol*, 36, 493-496.
- EUCAST, (2018). EUCAST, European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing, [http://www.eucast.org/fileadmin/src/media/PDFs/EUCAST\\_files/Breakpoint\\_tables/v\\_8.0\\_Breakpoint\\_Tables.pdf](http://www.eucast.org/fileadmin/src/media/PDFs/EUCAST_files/Breakpoint_tables/v_8.0_Breakpoint_Tables.pdf)
- Flowers, R. S., D'aust, J. Y., Andrews, W. H. & Bailey J. S. (1992). Salmonella. Vanderzant, C., Spiltstoeser, D. F. (Ed.), In *Compendium of the Methods for the Microbiological Examinations of Foods* (pp. 371-422), USA, American Public Health Association.
- Gilani, A. H., Mehmood, M. H., Janbaz, K. H., Khan, A. U. & Saced, S. A. (2008). Ethanopharmacological studies on antispasmodic and antiplatelet activities of *Ficus carica*. *J Ethanopharmacol*, 119, 1-5.
- ISO. (1999). International Standard Organization, 6888-1 Horizontal Method for the Enumeration of Coagulase - positive Staphylococci Technique using Baird Parker Agar Medium. Geneva, Switzerland.
- ISO. (2001a) International Standard Organization, 16649-1:2001 Microbiology of food and animal feeding stuffs - Horizontal method for the enumeration of beta-glucuronidase-positive Escherichia coli - Part 1: Colony-count technique at 44 degrees C using membranes and 5-bromo-4-chloro-3-indolyl beta-D-glucuronide. Geneva, Switzerland.
- ISO. (2001b) International Standard Organization, 16649-2:2001 Microbiology of food and animal feeding stuffs - Horizontal method for the enumeration technique at 44 degrees C using 5-bromo-4-chloro-3-indolyl beta-D-glucuronide. Geneva, Switzerland.
- ISO. (2015a). International Standard Organization, 16649-3:2015 Microbiology of the food chain- Horizontal method for the enumeration of beta-glucuronidase-positive Escherichia coli - Part 3: Detection and most probable number technique using 5-bromo-4-chloro-3-indolyl-β-D-glucuronide. Geneva, Switzerland.
- ISO. (2015b). International Standard Organization, 21567:2004 Microbiology of food and animal feeding stuffs - Horizontal method for the detection of Shigella spp. Geneva, Switzerland.
- ISO. (2017a). International Standard Organization, 11290-1:2017 Microbiology of the food chain, Horizontal method for the detection and enumeration of Listeria monocytogenes and of Listeria spp. - Part 1: Detection method. Geneva, Switzerland.
- ISO. (2017b). International Standard Organization. 11290-2:2017 Microbiology of the food chain, Horizontal method for the detection and enumeration of Listeria monocytogenes and of Listeria spp. - Part 2: Enumeration method. Geneva, Switzerland.

- ISO. (2017c). International Standard Organization, 6579-1:2017 Horizontal method for the detection, enumeration and serotyping of Salmonella. Geneva, Switzerland.
- Jeong, M. R., Kim, H. Y. & Cha, J. D. (2009). Antimicrobial activity of methanol extract from *Ficus carica* leaves against oral bacteria. *Journal of Bacteriology and Virology*, 39(2), 97-102. <https://doi.org/10.4167/jbv.2009.39.2.97>
- Joseph, B. & Raj, S. J. (2011). Pharmacognostic And Phytochemical Properties of *Ficus Carica* Linn – An Overview. *Int J Pharm Tech Res*, 3, 8-12.
- Lianju, W., Weibin, J., Kai, M., Zhifeng, L., Yelin, W. (2003). The production and research of fig (*Ficus carica* L.) in China. *Acta Horti*, 605, 191-196.
- Say, D. & Güzeler, N. (2016). Süt pıhtılaştırılmasında kullanılan bazı bitkiler. *Nevşehir Journal of Science and Technology*, TARGİD özel Sayı, 253-261.
- Say, D., Soltani, M. & Güzeler, N. (2012). Bazı bitkisel pıhtılaştırıcıların sütü pıhtılaştırma kuvvetleri. III. Geleneksel Gıdalar Sempozyumu, 10-12 Mayıs, Konya, Türkiye. 701-703.
- Slatnar, A., Klancar, U., Stampar, F. & Veberic, R. (2011). Effect of drying of figs (*Ficus carica* L.) on the contents of sugars, organic acids and phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(21), 11696-11702.
- Slavin, J. L. (2006). Figs: Past, Present and Future. *Nutrition Today*, 41, 180-184.
- Solomon, A., Golubowicz, S., Yablowicz, Z., Grossman, S., Bergman, M., Gottlieb, H. E., Altman, A., Kerem, A. & Flaisman, M. (2006). Antioxidant Activities and Anthocyanin Content of Fresh Fruits of Common Fig (*Ficus carica* L.). *J Agric Food Chem*, 54, 7717-7723.
- Su, Q., Rowley, K. G., Itsiopoulos, C. & O'Dea, K. (2002). Identification and quantitation of major carotenoids in selected components of the Mediterranean diet: green leafy vegetables, figs and olive oil. *Eur J Clin Nutr*, 56, 1149-1154.
- Vinson, J. A., Zubik, L., Bose, P., Samman, N. & Proch, J. (2005). Dried fruits: Excellent in Vitro and in ViVo Antioxidants. *J Am Coll Nutr*, 24, 44-50.





# Yüksek Sıcaklıklı ve Derin Jeotermal Sahaların Rezistivite Ölçümlerinin Jeolojik Yorumlama Yöntemleri: Batı Anadolu'dan Bir Çalışma

Adil Özdemir<sup>1\*</sup>, Yıldray Palabıyık<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Adil Özdemir Danışmanlık, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3975-2846)

<sup>2</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6452-2858)

(İlk Geliş Tarihi 29 Kasım 2019 ve Kabul Tarihi 30 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.653203)

**ATIF/REFERENCE:** Özdemir, A. & Palabıyık, Y. (2019). Yüksek Sıcaklıklı ve Derin Jeotermal Sahaların Rezistivite Ölçümlerinin Jeolojik Yorumlama Yöntemleri: Batı Anadolu'dan Bir Çalışma. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (17), 1075-1091.

## Öz

Düşey elektrik sondaj (DES) yöntemi, jeolojik sorunların çözümünde başvurulan başlıca jeofizik yöntemler arasında yer alır. Kayaçların yatay veya düşey yöndeki elektriksel iletkenlik farklarından yararlanılarak jeolojik yapının aydınlatılması, elektrik rezistivite (özdirenç) yönteminin uygulamasındaki temel amaçtır. Bu yöntemde, yeraltındaki tabakaların derinlikleri ve kalınlıkları özdirenç farklılıklarından faydalanılarak belirlenmeye çalışılır. Bu çalışmada, Batı Anadolu'daki yüksek sıcaklıklı ve derin bir jeotermal sahanın DES ölçümleri ile yeraltı jeolojisinin yorumlanması amaçlanmıştır. Bu amaçla, AB/2 = 2500 m kuramsal derinlik için ölçülen 206 adet özdirenç ölçümü, EarthImager 1D and RockWorks programları ile değerlendirilmiştir. 2D-3D rezistivite ve stratigrafik enine kesitler hazırlanmış ve yorumlanmıştır. Çalışma alanında, tektonizma kontrollü olarak jeotermal faaliyet varlığını gösteren düşük rezistivite anomalileri belirlenmiş ve kavramsal jeotermal model kurgulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** jeotermal arama, rezistivite, jeolojik yorum, yüksek sıcaklıklı jeotermal saha, Batı Anadolu, Gediz Grabeni

## Geological Interpretation Methods of Resistivity Measurements of High-Temperature and Deep Geothermal Fields: A Study from Western Anatolia

### Abstract

The vertical electrical sounding (VES) method is one of the main geophysical methods used in solving geological problems. The main target for the application of the electrical resistivity method is to illuminate the geological structure by making use of the electrical conductivity differences of the rocks in the horizontal or vertical directions. In this method, depths and thicknesses of formation layers in the subsurface are attempted to be determined by utilizing resistivity differences. In this study, it is aimed to interpret the subsurface geology of a high-temperature and deep geothermal field in Western Anatolia by DES measurements. For this purpose, 206 resistivity measurements, measured for AB/2 = 2500 m theoretical depth, have been evaluated by using EarthImager 1D and RockWorks programs. 2D and 3D resistivity along with stratigraphic cross-sections have been prepared and interpreted. In the study area, low-resistivity anomalies indicating the presence of geothermal activity controlled by tectonism have been determined and a conceptual geothermal model has been designed.

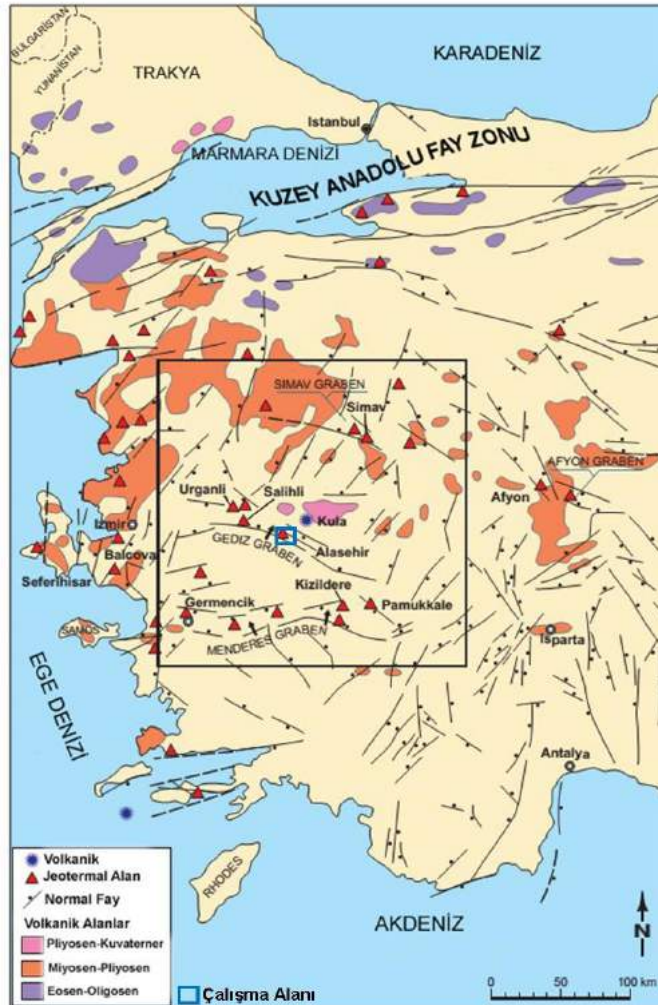
**Keywords:** geothermal exploration, resistivity, geological interpretation, high-temperature geothermal field, Western Anatolia, Gediz Graben

\* Sorumlu Yazar: Adil Özdemir, Ankara, Türkiye, ORCID: 0000-0002-3975-2846, [adilozdemir2000@yahoo.com](mailto:adilozdemir2000@yahoo.com)

## 1. Giriş

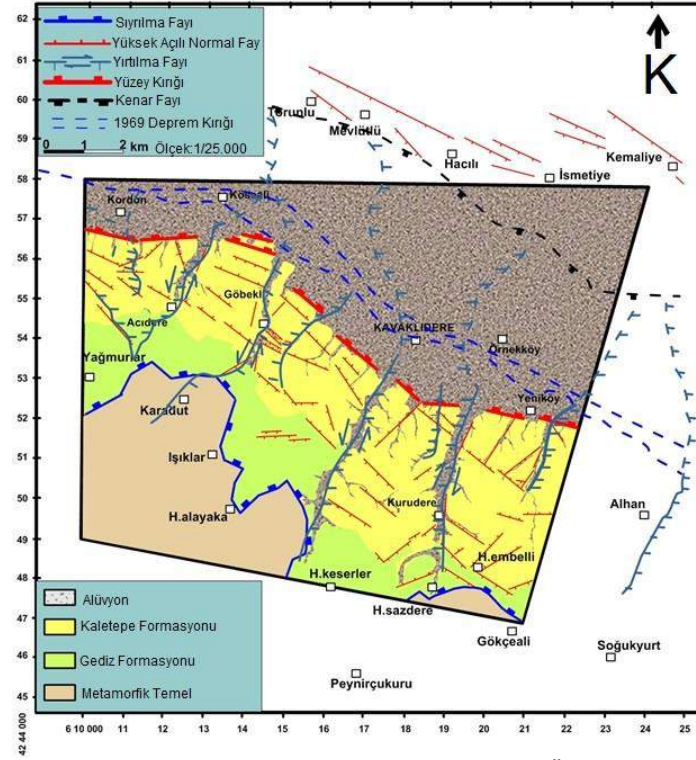
Çalışma alanının yer aldığı Gediz Grabeni'ndeki (Batı Anadolu) ilk jeotermal çalışmalar, yüksek sıcaklıklı sıcak su kaynaklarının varlığı nedeniyle 1960'lı yıllarda başlamıştır (Şekil 1). Son yıllarda yapılan sondajlarla, 287 °C'ye kadar jeotermal akışkanlar üretilmiştir (Özdemir ve diğ., 2017). Jeotermal kaynaklar, başlıca elektrik üretiminde olmak üzere bölgesel ve sera ısıtması, kimyasal madde üretimi ve sağlık turizminde kullanılmaktadır. Gediz Grabeni'nde 200'den fazla derin jeotermal kuyu açılmıştır. 6 adet jeotermal elektrik santrali (JES) çalışmaktadır. Çalışma alanının stratigrafisi, petrografisi ve tektoniği (MTA, 2010a, 2011a; Öner, 2012; Koçyiğit, 2014; Özdemir ve Palabıyık, 2019a; Palabıyık ve Özdemir, 2019), petrol etüdü (Yazman ve İztan, 1990; Yazman ve diğ., 1998), jeotermal etüdü (Ünal ve Havur, 1971; Yılmaz ve diğ., 2010; Özdemir, 2015; Özdemir ve diğ., 2017), rezisitivite etüdü (Şener ve diğ., 1993; FNC, 2012), gravite ve manyetik etüdü (MTA, 2010a,b), sismik ve gravite etüdü (Erden, 1965; Gürsoy, 1981; Yazman ve diğ., 1998; Türk, 2014), manyetotellürik etüdü (WesternGeco, 2012; Özdemir ve Palabıyık, 2019b) hidrotermal alterasyon çalışmaları, hidrojeolojik ve su kimyası değerlendirmeleri (MTA, 2011b,c ve Şimşek, 2012), sondaj ve kuyu tamamlama çalışmaları (MTA, 2011a,b,c,d,e,f) ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır. İnceleme alanında, tabandan tavana doğru sırayla, (1) Prekambriyen-Orta Triyas yaşlı Menderes Masifi'ne ait metamorfik kayalar (gnays, kalkışist, kuvarşist, fillit, mikaşist), (2) Paleozoik yaşlı mermerler (3), granitik kayalar, (4) Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşlı çökellerle karakterize Gediz formasyonu, (5) Üst Pliyosen-Kuvaterner yaşlı çökellerle karakterize Kaletepe formasyonu ve (6) Kuvaterner yaşlı alüvyonlar olmak üzere 6 farklı birim ayrılmıştır (Şekil 2) (Özdemir ve diğ., 2017).

Düşey elektrik sondaj (DES) yöntemi, jeolojik sorunların çözümünde başvurulan başlıca jeofizik yöntemler arasında yer alır. Kayaların yatay veya düşey yöndeki elektriksel iletkenlik farklarından yararlanarak, jeolojik yapının aydınlatılması elektrik öz direnç yönteminin uygulamasındaki temel amaçtır. Bu yöntemde, yeraltındaki tabakaların derinlikleri ve kalınlıkları öz direnç farklılıklarından faydalanılarak belirlenmeye çalışılır. İnceleme alanının yeraltı jeolojisi, Özdemir ve Palabıyık (2019) tarafından manyetotellürik yöntemlerle incelenmiştir. Bu çalışmada ise, öncel çalışmalarda Schlumberger yöntemi ile alınan DES ölçümleri ile çalışma alanının yeraltı jeolojisinin yorumlanması amaçlanmıştır. Bu amaçla, AB/2 = 2500 m kuramsal derinlik için ölçülen 206 adet öz direnç ölçümü (DES), EarthImager 1D and RockWorks programları ile yeniden değerlendirilmiştir. DES eğrileri, öz direnç ve stratigrafik enine kesitler, yeniden hazırlanmış ve yorumlanmıştır. Ölçüm noktası aralığı, 250-500 m arasında değişmektedir (Şekil 3). Bu çalışmada, yeniden belirlenen enine-kesit hatları boyunca tektonizma kontrollü olarak jeotermal faaliyet varlığını gösteren düşük öz direnç anomalileri belirlenmiştir.

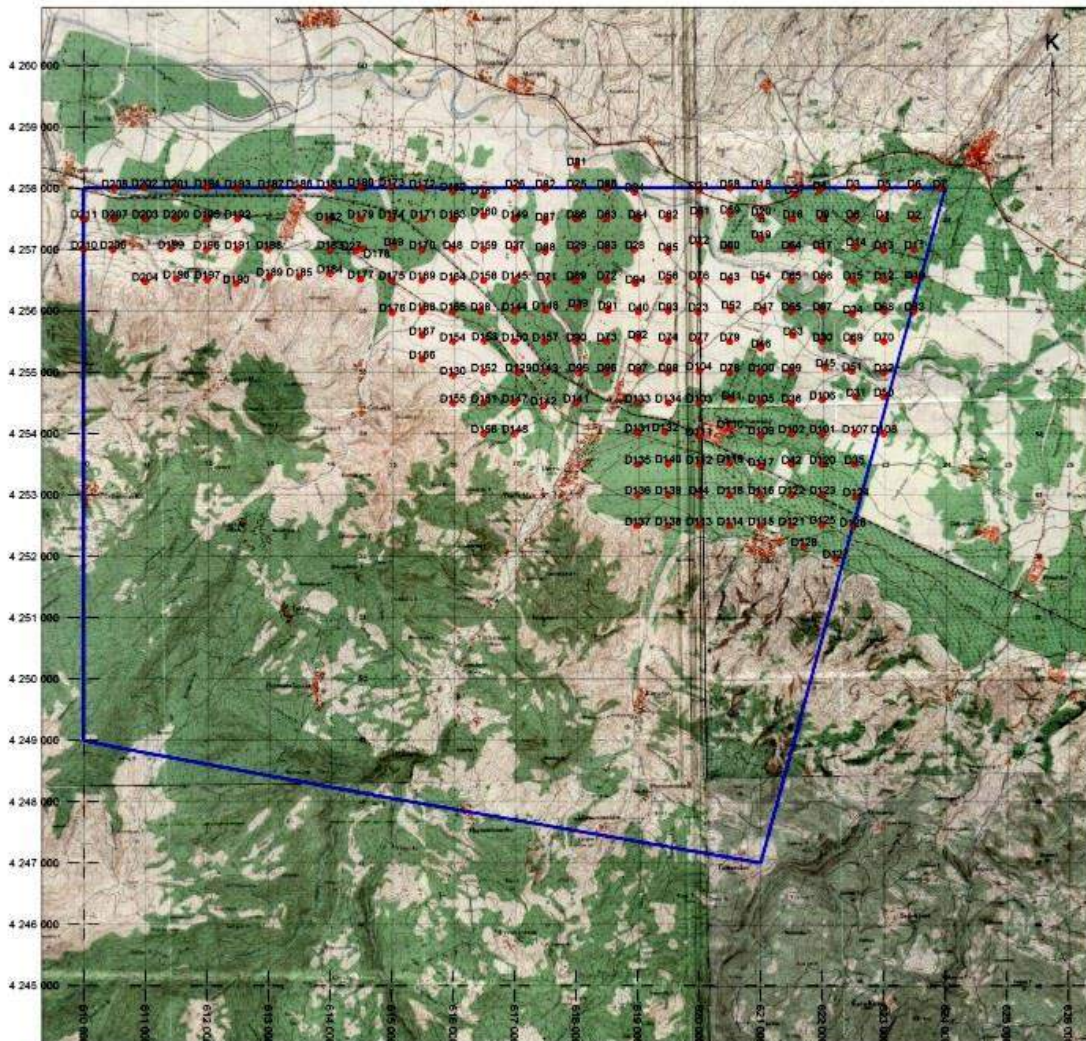


Şekil 1. Batı Anadolu'daki ana fay zonlarını ve jeotermal sistemlerin konumlarını gösteren jeoloji haritası (Faulds ve diğ., 2009)





Şekil 2. Çalışma alanının basitleştirilmiş jeoloji haritası (Özdemir ve diğ., 2017)



Şekil 3. Çalışma alanındaki düşey elektrik sondaj (DES) ölçüm noktalarının yer bulduru haritası (UTM -ED50)

## 2. Jeofizik Rezistivite Ölçümleri

Elektriği iyi ileten ortamların öz direnç değeri düşük, elektriği iletmeyen ortamların öz direnç değeri yüksektir. Bu ilkedeki hareketle, içerisinde su bulunan formasyonların iletkenlikleri yüksek, dolayısı ile öz dirençleri düşük olacaktır. Mineral çözeltisi içeren suların bulunduğu formasyonların öz direnç değerleri ise, daha da düşük olacaktır. Ortamın öz direncini etkileyen birçok etken vardır. Bunlar; jeolojik birimlerin gözenekliliğindeki değişimler, içerdiği çözeltilerin kimyasal durumları, yoğunluklarındaki farklılıklar ve ısı değişimleri gibi etkenlerdir. Özellikle, jeotermal bir sistemin bu tür değişimlerin tümünü barındırması ile ortamda bulunan farklı ve hızlı değişen fiziksel özelliklerin yöntemin başarısını etkilediği bilinen bir gerçektir. Jeotermal bir alan üzerinde yapılan öz direnç araştırmasında, ortamın ısı, gözeneklilik, tuzluluk ve iyonik mineral oranındaki artış, doymuş kayacın öz direncini azaltıcı etkenlerdir. Bu önemli olgu, jeotermal sistemin belirlenmesinde etkilidir. Ayrıca, hidrotermal etkinlikler sonucu oluşmuş kil minerallerinin varlığı da, ortamın öz direncinin belirlenmesinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu etkilerin tümü, öz direncin düşmesine neden olur ve akışkan içeren jeotermal sistemlerin tümünde gözlenir. Ancak, sıvı baskın yerine buhar baskın rezervuarlar üzerinde yapılan öz direnç araştırmaları, bu tür rezervuarların görece olarak daha yüksek öz direnç değerleri verdiğini de ortaya koymuştur. Doğaldır ki, bu tür rezervuarların suya doymuş bölümleri de düşük öz dirençli zonlarla tanımlanabilir. Jeotermal alanlar, tektonik aktivitenin etkin olduğu ve önemli değişimler geçirmiş yerlerde bulunmaktadır. Böylece, jeolojik açıdan birçok değişik türde süresizliğe sahiptirler. Bu özellik, gömülü rezervuarın bilinmeyen, tanımlanmamış ve boyutları düşünüldüğünde de oldukça karmaşık olan yapısı için birçok belirsizliğe neden olabilir. Ancak, ortamda sıcak tuzlu sular ve kil içeriğinin bulunduğu durumlarda, ortamlar arasındaki yüksek öz direnç zıtlığının ortaya çıkması, çözümünü bir ölçüde kolaylaştırıcı bir etken olmaktadır. Jeofizik literatüründe, jeotermal aramalarda kullanılan öz direnç yöntemleri üzerine birçok araştırma bulunmaktadır ve çok sayıda jeotermal rezervuar bu yöntem yardımıyla araştırılmıştır.

Öz direnç (rezistivite) yöntemi, gömülü hidrotermal yapının boyutlarını belirlemek ve onları jeotermal rezervuarlarla ilgili termal ve hidrojeolojik yapılarla ilişkilendirmek için Schlumberger veya Wenner elektrot dizilimi kullanılarak gerçekleştirilebilir. İnceleme alanındaki öncel öz direnç çalışmalarında, düşey elektrik sondajı (DES) için, Schlumberger yöntemi ile ölçüler alınmıştır. DES ölçümleri, 206 lokasyonda gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). DES ölçümlerinde  $AB/2 = 2500$  m kuramsal derinlik araştırılmıştır. Ölçüm noktası aralığı, 250-500 m arasında değişmektedir. Bu çalışma kapsamında, öncel çalışmalarda ölçülen öz direnç ölçümleri, EarthImager 1D and RockWorks 15 programları ile yeniden değerlendirilmiştir. DES eğrileri, öz direnç ve stratigrafik enine kesitler yeniden hazırlanmış ve yeniden yorumlanmıştır. Bu çalışmada, yeniden belirlenen enine-kesit hatları boyunca tektonizma kontrollü olarak jeotermal faaliyet varlığını gösteren düşük öz direnç anomalileri arasındaki ilişki belirlenmiştir. Bu sayede, düşey elektrik sondaj (DES) ölçümleri ile yüksek sıcaklıklı bir sahanın jeotermal enerji olanaklarını araştırma metodolojisine katkıda bulunmak amaçlanmıştır. Çalışma alanındaki sedimanter birimlerin (örtü kayaçların) toplam kalınlığının, sedimanter kayaçlar altında bulunan temel kayaçların derinliğinin ve buna bağlı olarak temel kaya topografyasının çıkarılması, yeraltı jeolojisinin ve jeotermal sistemi kontrol eden tektonik yapıların belirlenmesi, muhtemel jeotermal etkinliğin olduğu alanlar ve seviyelerin belirlenmesi, sıcak akışkanın yüzey jeolojisi, yeraltı jeolojisi ve tektonizma ile olan ilişkisini tanımlayarak olası jeotermal sistem özelliklerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Çalışma alanında delinmiş olan jeotermal kuyular vardır ve bu kuyularda değişik debilerde ve yüksek sıcaklıkta akışkan birlikteliği sağlanabilmiştir. Dolayısıyla, bu çalışmada, delinmiş olan bu kuyulara ait veriler de dikkate alınmıştır.

Seviye haritaları, farklı derinliklerdeki öz direnç dağılımlarını gösterir. Bu haritalardan, farklı derinliklerdeki tektonik yapının ve jeotermal akışkan içeren seviyelerin yanal ve düşey yöndeki değişiminin izlenmesi mümkündür. Bu amaca uygun olarak, farklı kuramsal derinlikler için 18 adet öz direnç seviye/derinlik haritası hazırlanmıştır. Seviye haritaları,  $AB/2 = 900$  m, 1000 m, 1100 m, 1200 m, 1250 m, 1300 m, 1400 m, 1500 m, 1600 m, 1700 m, 1750 m, 1800 m, 1900 m, 2000 m, 2100 m, 2200 m, 2300 m, 2400 m ve 2500 m kuramsal derinlikler için hazırlanmıştır. Enine kesitler, seviye ve temel derinliği haritaları hazırlanırken minimum düşük öz dirençli seviyelerin daha net olarak belirlenebilmesi için maksimum öz direnç değeri 80 ohm.m olarak sınırlandırılmıştır.

Temel derinliği haritası, elektriksel temel olan kalın ve iletken sedimanter istifin altındaki yüksek öz dirençli kayaçların derinliğini gösteren haritadır. Bu haritadaki derinlik verileri, ölçülen 206 adet DES noktasının eğrilerinin EarthImager 1D yazılımı ile yeniden değerlendirilmesi sonucunda belirlenmiştir. Derinlik haritası, metamorfik kayaçların üzerindeki sedimanter kayaçların toplam kalınlığını göstermektedir. Derinlik boyutunda, havzadaki temel kayanın topografyası ve yapısı izlenebilmektedir. Bu harita, özellikle sondaj kuyularının yerlerinin belirlenmesi için önemlidir.

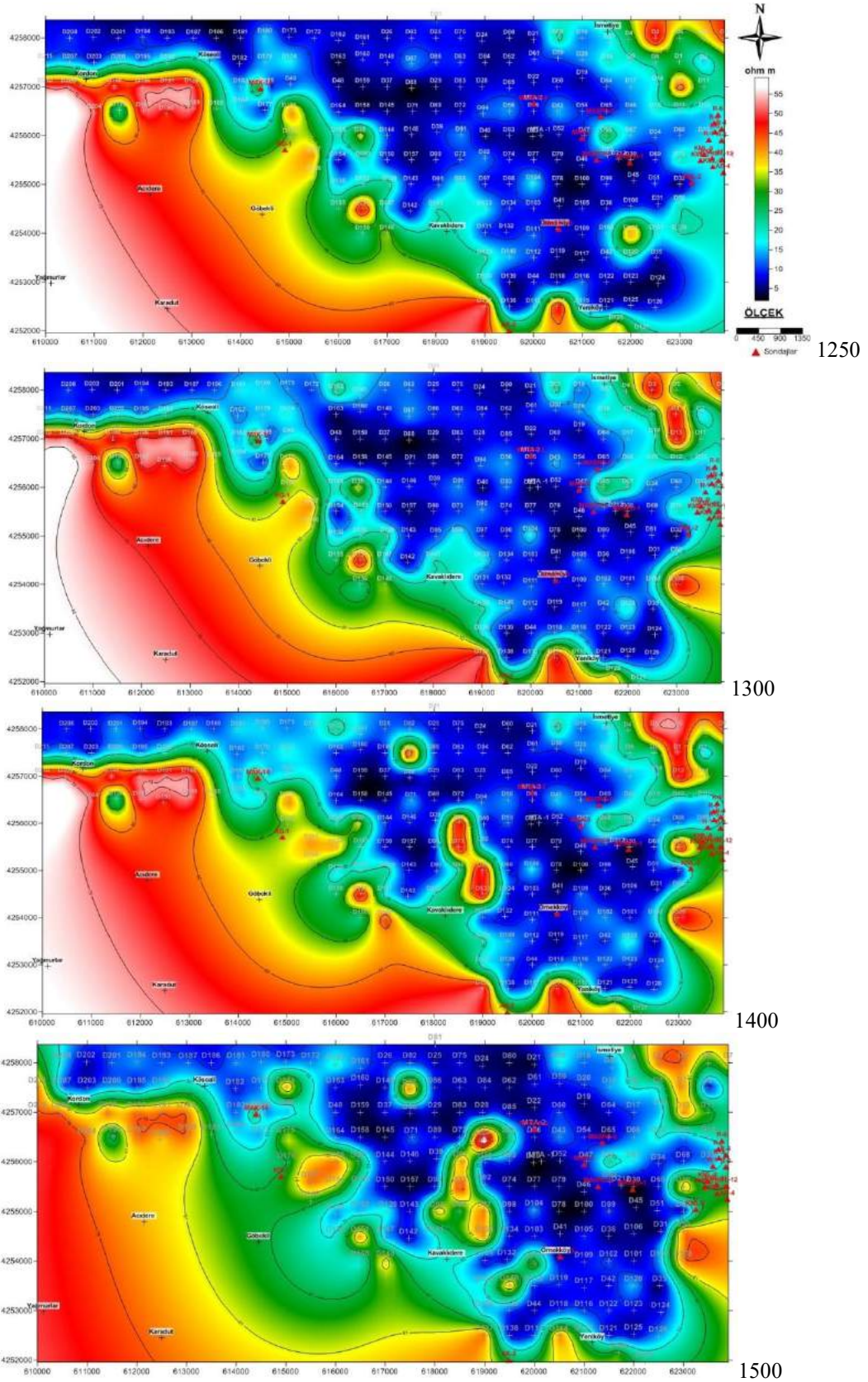
### 2.1. Sığ Seviyelerin Öz direnç Dağılım Haritaları ve Yorumları

Öncel jeolojik çalışmalardan elde edilen verilere göre, 900-1500 metreler sığ seviye olarak tanımlanmış ve  $AB/2 = 900 - 1500$  metreler için öz direnç seviye haritaları hazırlanmıştır (Şekil 4 ve 5). Jeotermal faaliyet ile doğrudan bağlantılı olmayan düşük öz direnç değerleri, örtü kayaçların değerleri olarak yorumlanmıştır. Ancak, sahanın bazı bölümlerinde görülen öz direnç düşüşü, jeotermal etki ile bağlantılı olarak yorumlanmıştır. Başka bir deyişle, sahanın derin seviyeleri için hazırlanan öz direnç haritalarında, jeotermal sistem ile ilişkili olan bölgelerin üst kısımlarında görülen düşük öz direnç değerleri, jeotermal etkinliğin öz direnç değerlerine yansımaları olarak düşünülmüştür.







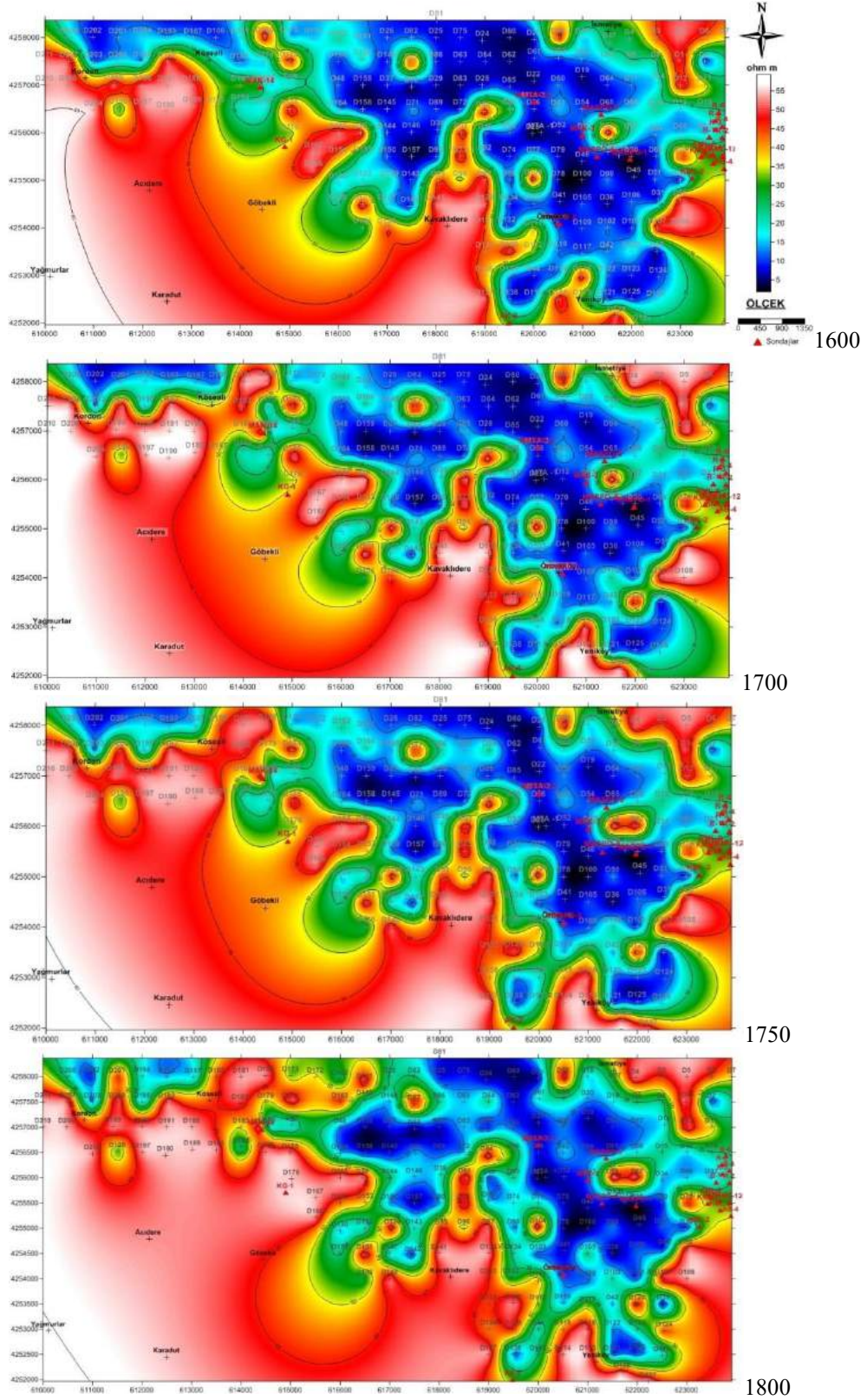


Şekil 5. AB/2= 1250 - 1500 metre derinlikler için özdirenç seviye haritaları

## 2.2. Derin Seviyelerin Özdirenç Dağılım Haritaları ve Yorumları

Öncel jeolojik çalışmalarından elde edilen verilere göre, çalışma alanındaki 1500-2500 metreler derin seviyeler olarak tanımlanmıştır. Bu sebeple, derin seviye incelemesi amacıyla AB/2 = 1500-2500 metreler için özdirenç seviye haritaları hazırlanmıştır (Şekil 6-8). Bu seviye haritalarında, çalışma alanının kuzey-kuzeydoğu bölümünde düşük özdirenç kapanımları tespit edilmiştir.





Şekil 6. AB/2= 1600 - 1800 metre derinlikler için özdirenç seviye haritaları

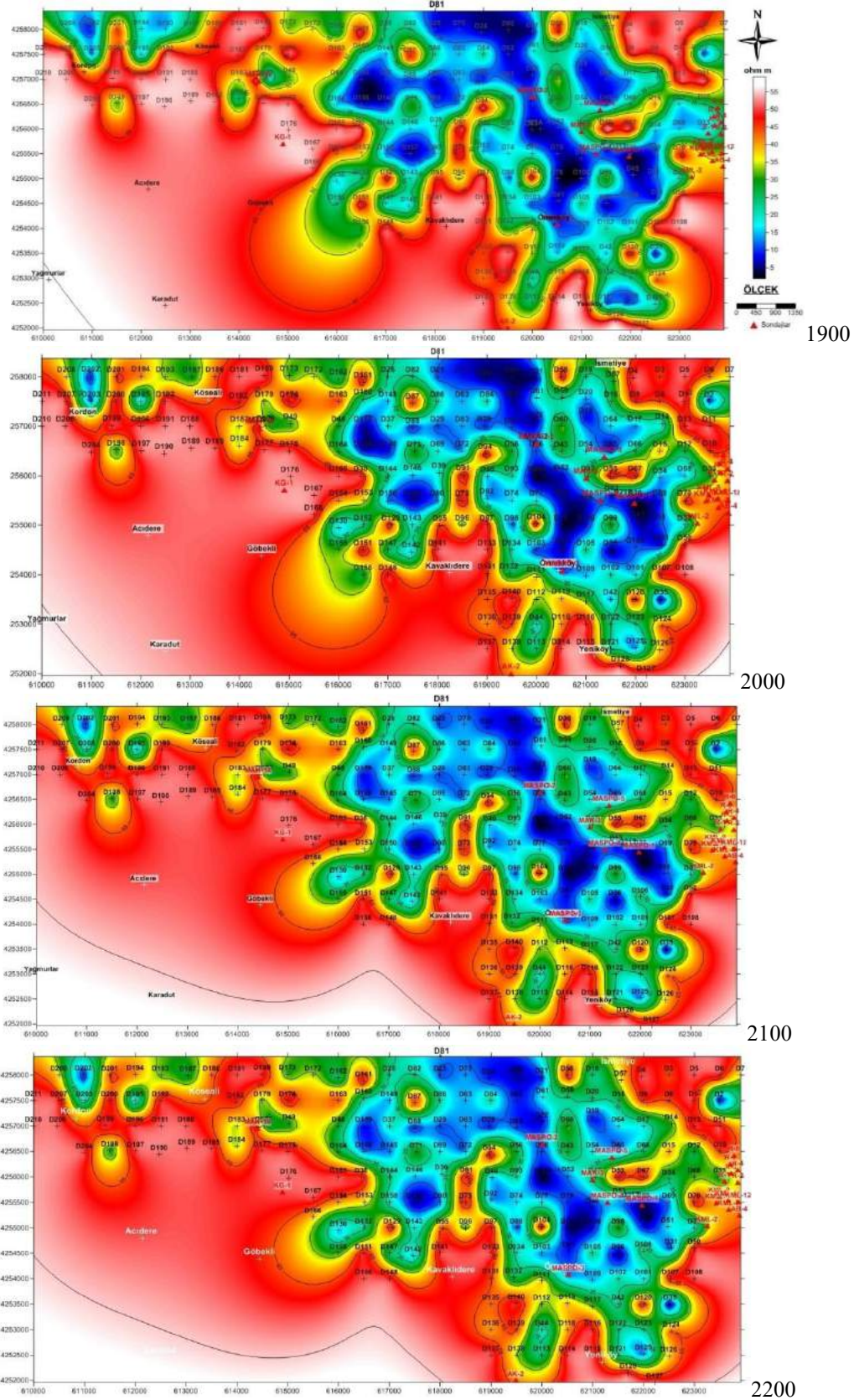
AB/2=1500-1600 metre kuramsal derinliklerde (Şekil 5 ve 6), çalışma alanının kuzey-kuzeydoğu bölümü, düşük özdirenç değerine sahiptir. 1600-1750 metre kuramsal derinliği gösteren özdirenç haritalarında görülen özdirenç dağılımı göz önünde bulundurularak, bu derinliklerdeki jeotermal etki açık hale gelmektedir. Derin seviyelerde, fay sistemleri ile ilgili düşük özdirenç alanlarının yaygınlığı, derinlik arttıkça jeotermal potansiyelin de arttığı şeklinde yorumlanmıştır.

AB/2= 1750-1900 m kuramsal derinlikleri gösteren özdirenç seviye haritalarında (Şekil 6 ve 7), en düşük özdirenç dağılımı net olarak tespit edilebilmektedir. Bu haritalarda, çalışma alanının kuzey-kuzeydoğu bölümünde, jeotermal enerji potansiyelinin en güçlü belirteci olan rezistivite değeri en düşük değerlere ulaşmıştır. Havza dolgu çökellerinin, derin seviyelerinde çok düşük özdirenç



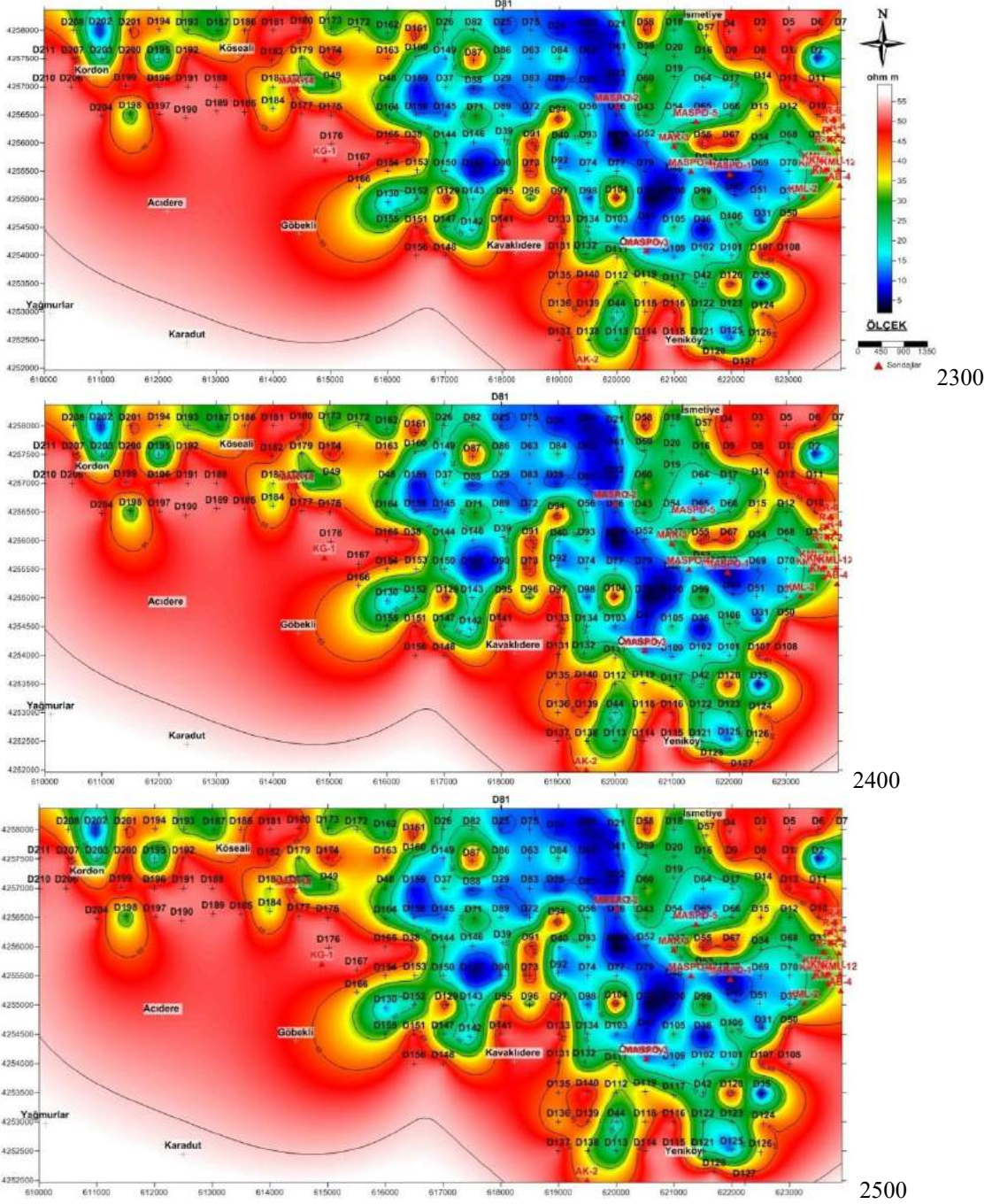
değerlerinin ölçülmesi, temel kaya içerisindeki yüksek sıcaklıklı akışkanların, örtü kayada oluşturduğu alterasyon ve buna bağlı olarak oluşan elektrolitik ortamla açıklanabilir.

AB/2=1900-2500 metre kuramsal derinliklerini yansıtan öz direnç haritalarında (Şekil 7 ve 8), genel görünüm oldukça farklıdır. Bu haritalardaki rezistivite değerlerindeki göreceli yükselişi, bu seviyelerde temel birimlere girildiğini göstermektedir. Fakat, bu haritalarda görülen rezistivite, temel birimlerin rezistivitesini tam olarak yansıtmamaktadır. Rezistivitenin çok küçük değerlere kadar düşmesi, sahadaki çökel kalınlığının fazla olması ve buna bağlı olarak temel derinliğinin artması görünür rezistivite değerlerini maskeleymektedir.



Şekil 7. AB/2= 1900 - 2200 metre derinlikler için öz direnç seviye haritaları





Şekil 8. AB/2= 2300 - 2500 metre derinlikler için özdirenç seviye haritaları

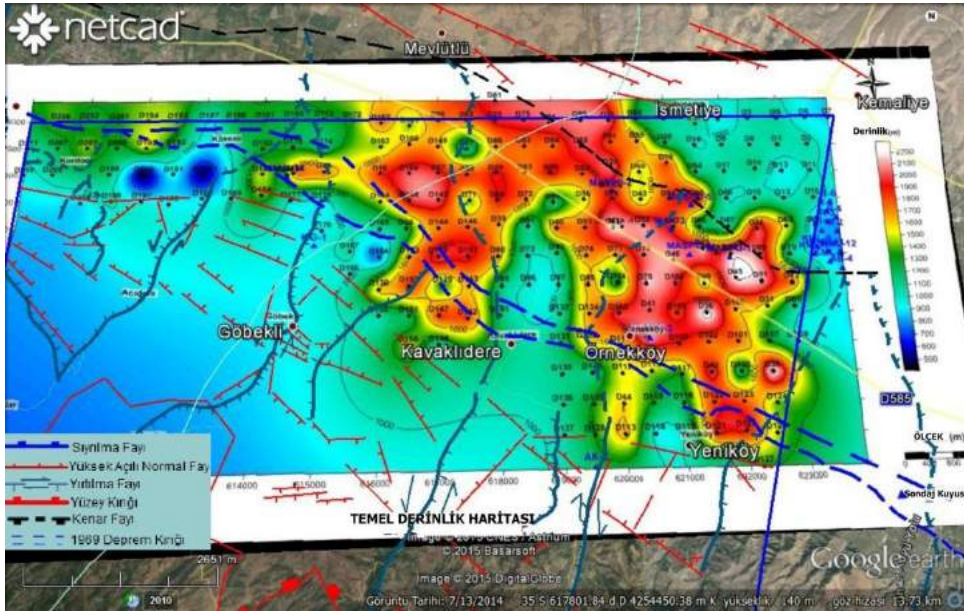
### 2.3. Temel Derinliği Haritası ve Yorumu

Yüksek özdirençli jeoelektrik temel, çalışma sahasının jeolojik temelini oluşturan Menderes Masifi metamorfikleri ve içerisindeki granitler ile denestirilebilir. Temelin derin olduğu yerlerde, temel üzerindeki seviyelerin kalınlıkları ince ise ayrılmaları mümkün değildir. Bu nedenle, havza tabanındaki rezistif (yalıtkan) seviye bütünü ile jeoelektrik temel olarak yorumlanmıştır.

Bulunan temel derinliklerinden, taban topoğrafyası veya temel kaya derinlik haritaları hazırlanabilir. Eğer taban topoğrafyası haritalanacak ise, her bir lokasyon için bulunan derinlikten, o lokasyonun kotu çıkarılır ve bu şekilde o lokasyonun kotu bulunur. Her lokasyon için bulunan kot değerlerinden, taban topoğrafyası haritası hazırlanır. Temel topoğrafya haritası, her bir lokasyon için bulunan yükselti değerinden hazırlanmaktadır.

Çalışma alanı için hazırlanan temel derinlik haritasında (Şekil 9), 1D model sonucu bulunan derinlikler doğrudan kullanılmıştır. Temel derinlik haritalarındaki eş yükselti eğrilerinin dağılımından, çalışma alanı için çok sayıda fay yorumu yapılmıştır. Bunlardan bazıları, yüzey jeolojisi çalışmalarında belirlenen özellikle grabenin güney kanadındaki fayların beklenen yönelimleri ile uyumluluk göstermektedir. Özdirenç değerleri, çalışma alanının güney kısmında belirgin bir şekilde yükselmiştir. Bu yüksek değerler, KB-GD uzanımlı kırık/çatlak sistemleri ile sınırlanmaktadır.

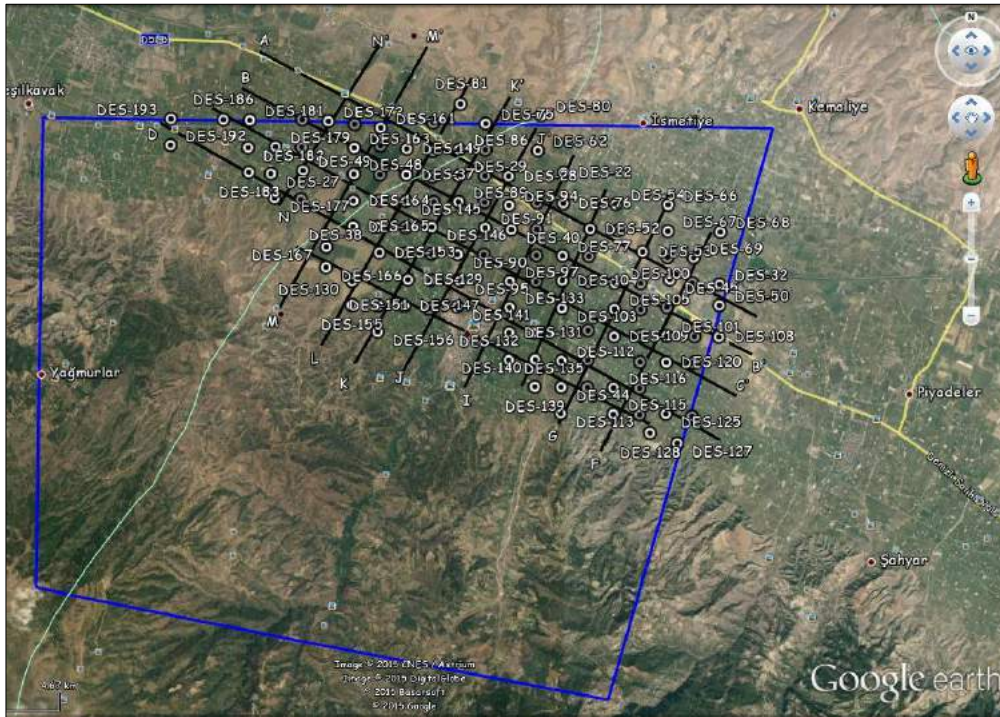




Şekil 9. Temel derinliğinin ruhsat alanındaki faylarla ilişkisi

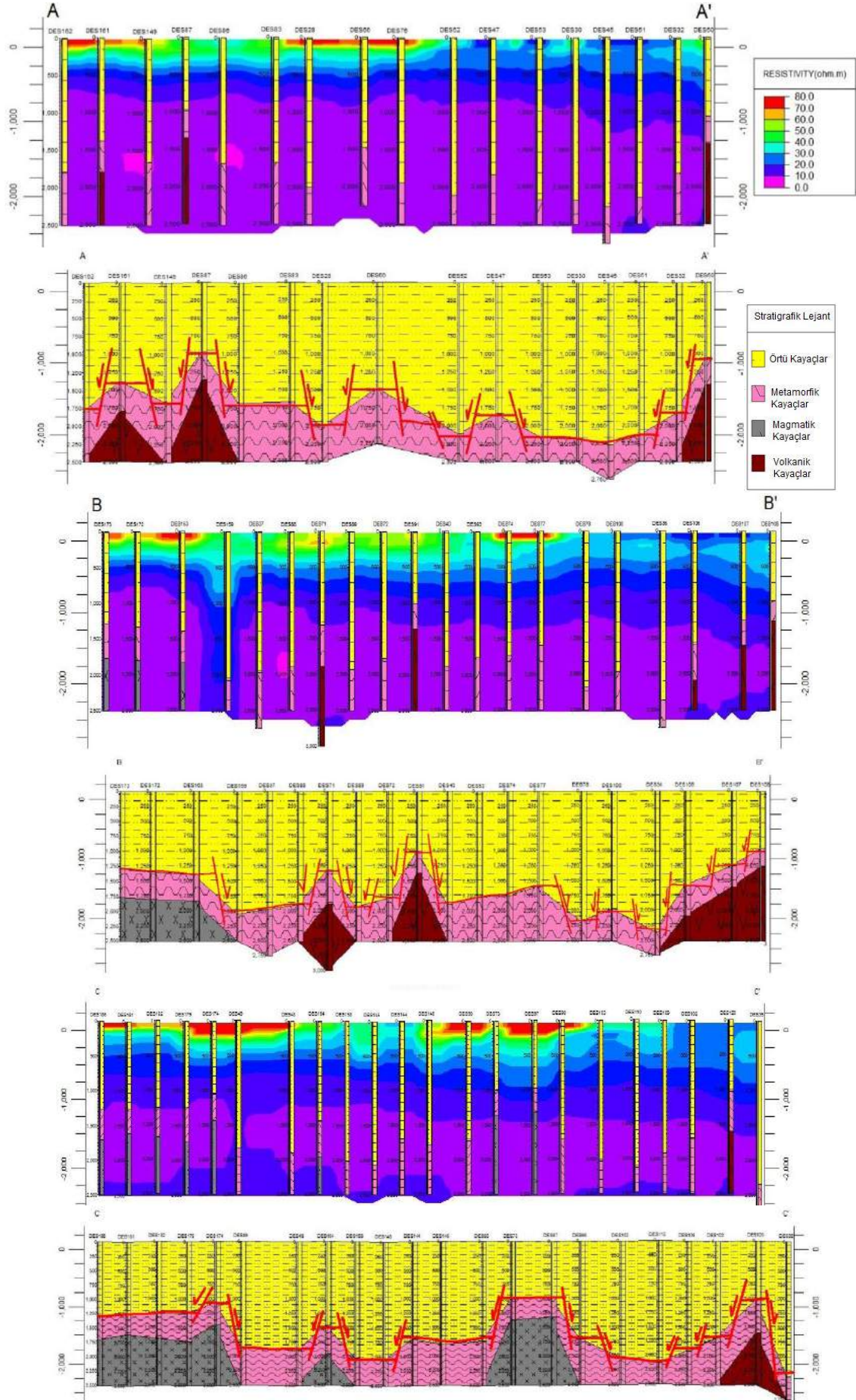
#### 2.4. Özdirenç Enine Kesitleri ve Yorumları

Özdirenç enine kesitleri, bir profil boyunca yer alan DES noktalarının tamamı için ölçülen özdirenç değerleri kullanılarak hazırlanmaktadır. Bu enine kesitler, hem yatay hem de düşey yönlü özdirenç dağılımlarını göstermektedir. Enine kesitlerde, kuramsal derinlikteki tektonik yapıları ve jeotermal alanları, özdirenç değerinin düşey ve yanal olarak değişimi şeklinde izlemek mümkündür. Çalışma alanının yeraltı jeolojisini yorumlamak amacıyla, tektonik yapı yönelimleri ile uyumlu olarak 14 adet özdirenç enine kesiti hazırlanmıştır (Şekil 10). Enine kesitler, bir profil boyunca yapılan DES ölçümlerinden elde edilen eğrilerden çalışma alanındaki jeolojik birimlerin kalınlık ve derinliklerini belirleyerek hazırlanmıştır. Enine kesitler hazırlanırken, en düşük özdirençli seviyelerin belirlenebilmesi için, en yüksek özdirenç değeri 80 ohm.m olarak sınırlandırılmıştır. Profil yönelimleri boyunca, olası stratigrafi, fay sistemleri, temel topoğrafyası ve yüksek sıcaklık bölgelerini açığa çıkarmak amacıyla, KB-GD yönünde 5 adet enine kesit ve GB-KD yönünde 9 adet enine kesit hazırlanmıştır (Şekil 11-14). Enine kesitlerin jeolojik yorumu ile çalışma alanında sayısız horst-graben sistemi varlığı belirlenmiştir. Buna göre, çalışma alanında çok sayıda fay oluşmuştur. Fayların, çoğunlukla KB-GD ve GB-KD yönünde olduğu ve bazı fayların birbirinin devamı olarak geliştiği görülmüştür. Fay sistemleri ile birlikte düşük özdirenç bölgeleri gelişmiştir. Diğer bir deyişle, fayların içinde dolaşan yüksek sıcaklıktaki akışkan, örtü kayalarda değişikliklere yol açmıştır.



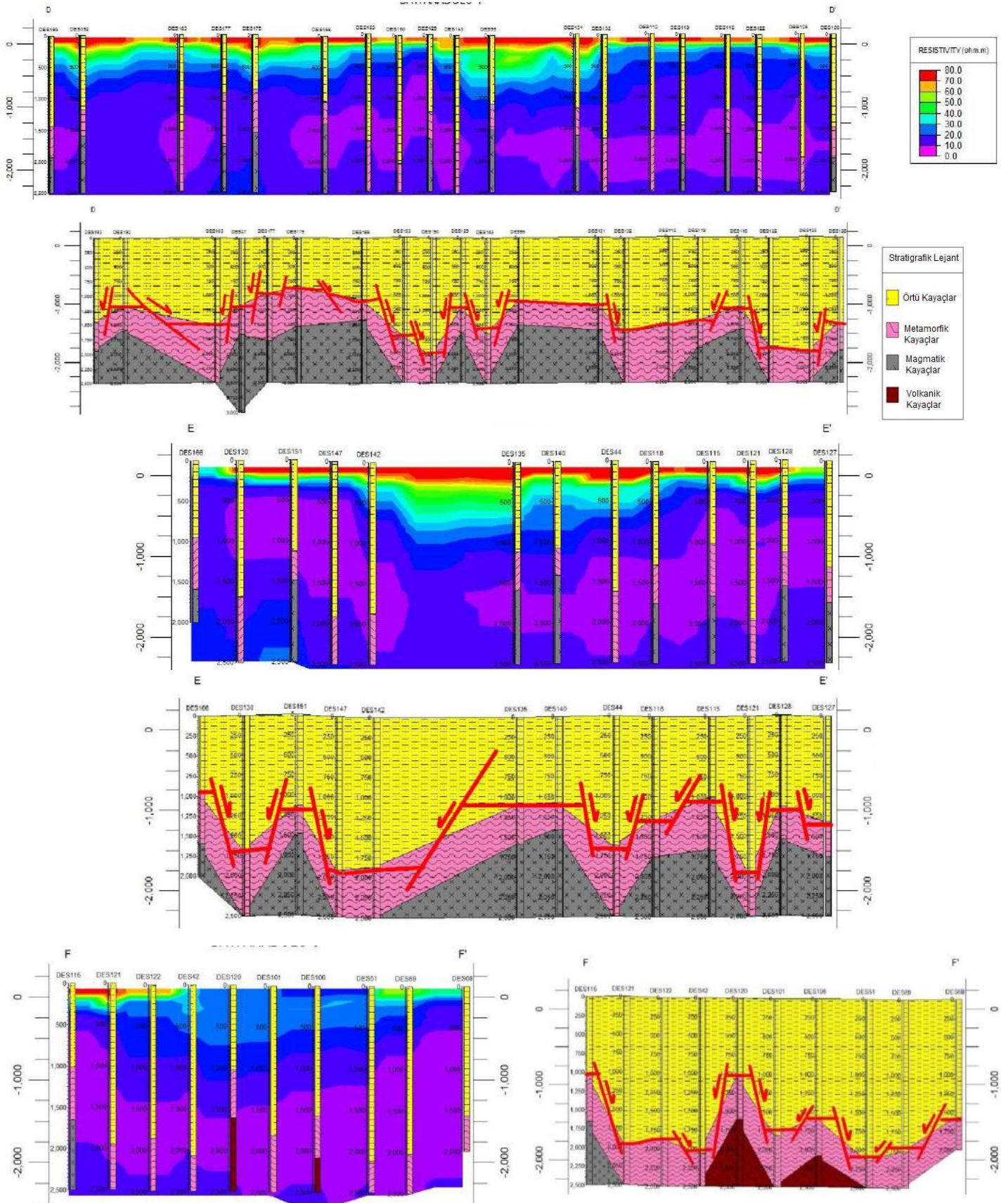
Şekil 10. Jeofizik ve jeolojik enine kesitlerin yer bulduru haritası





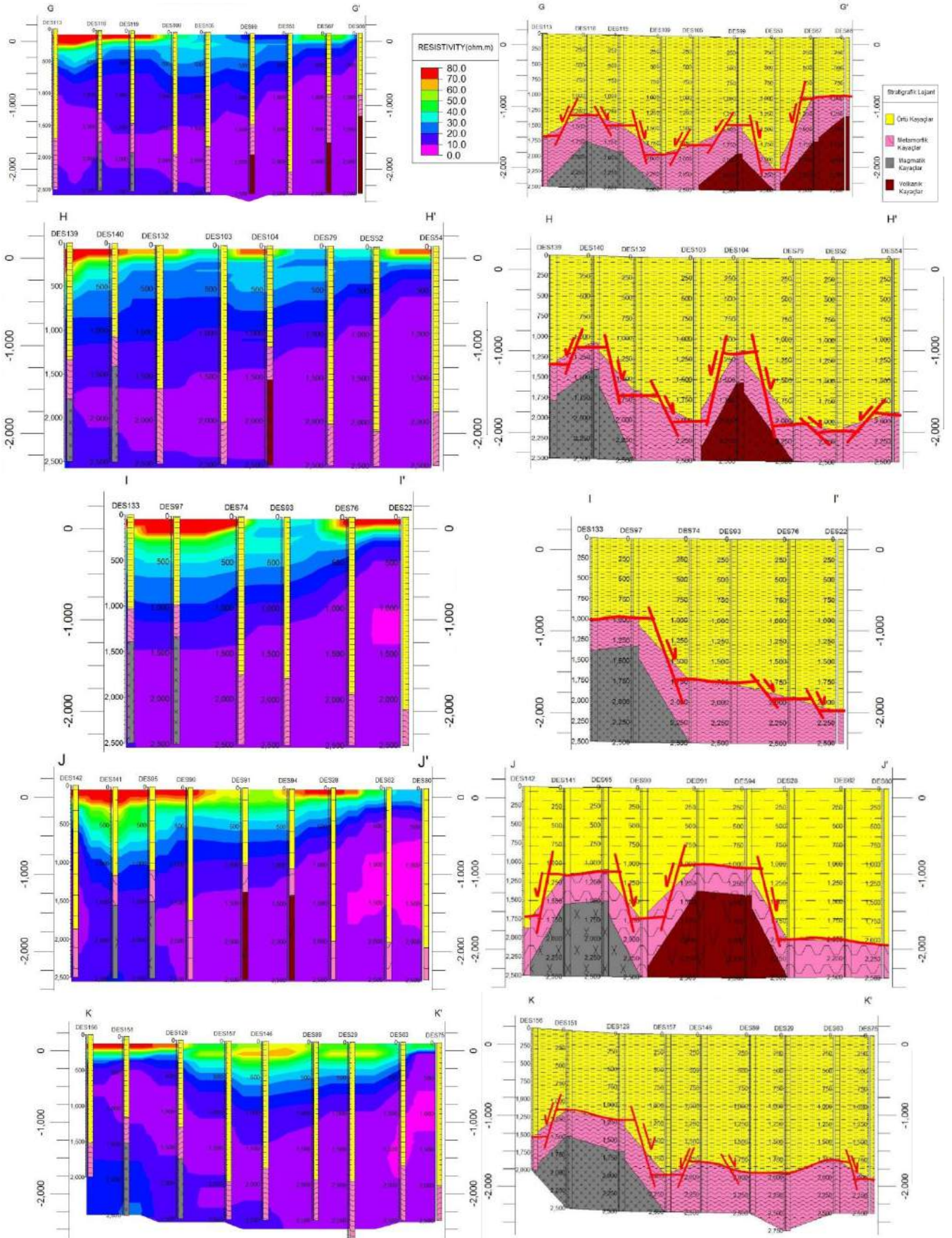
Şekil 11. A-A', B-B' ve C-C' jeofizik enine kesitleri ve jeolojik yorumları (kesitlerde, düşey ölçek metredir)





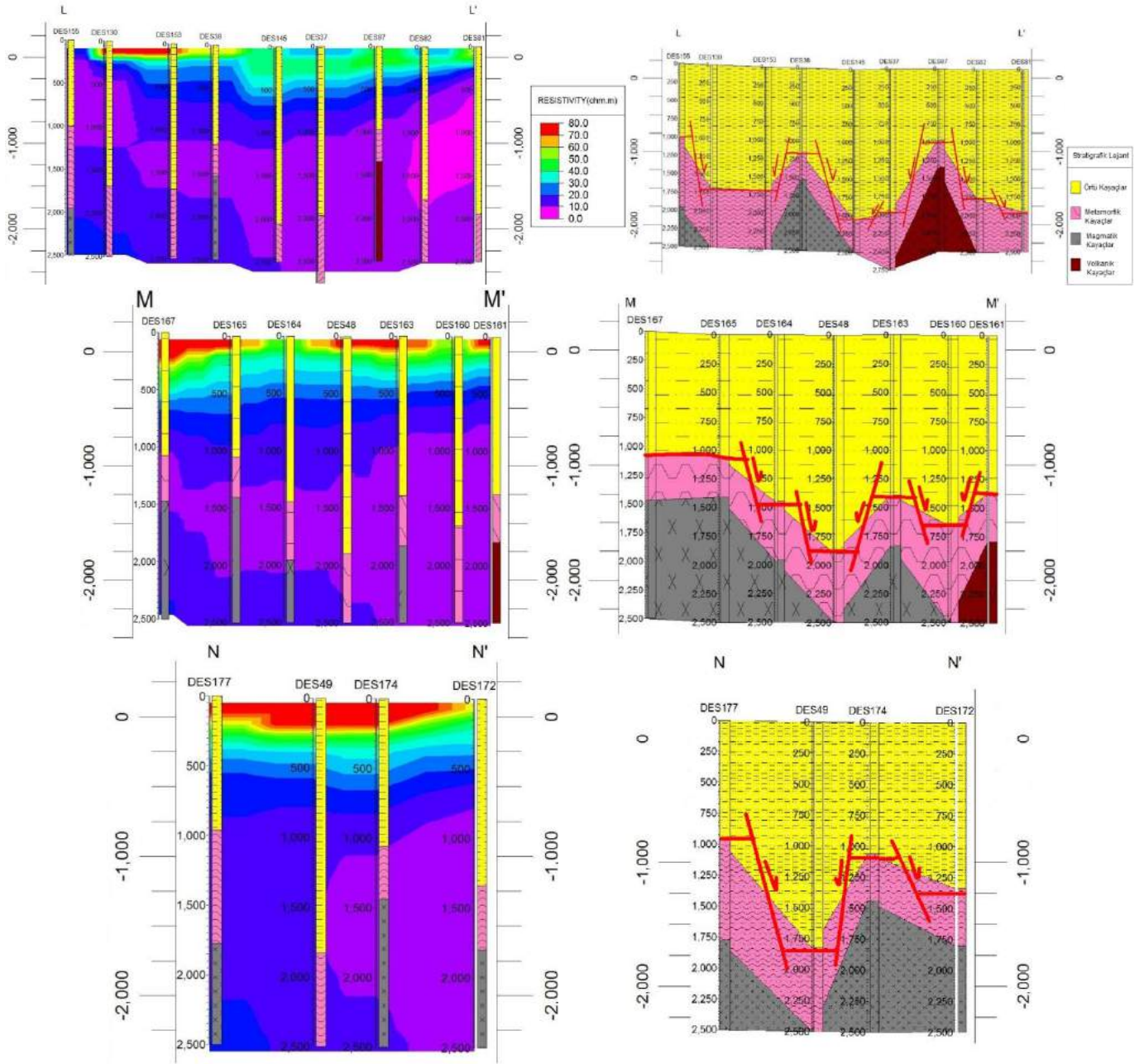
Şekil 12. D-D', E-E' ve F-F' jeofizik enine kesitleri ve jeolojik yorumları (kesitlerde, düşey ölçek metredir)





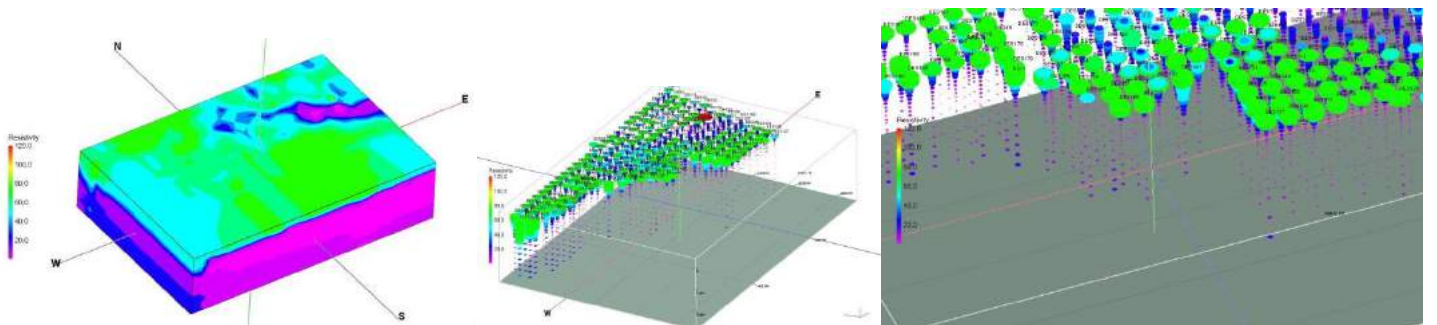
Şekil 13. G-G', H-H', I-I', J-J' ve K-K" jeofizik enine kesitleri ve jeolojik yorumları (kesitlerde, düşey ölçek metredir)



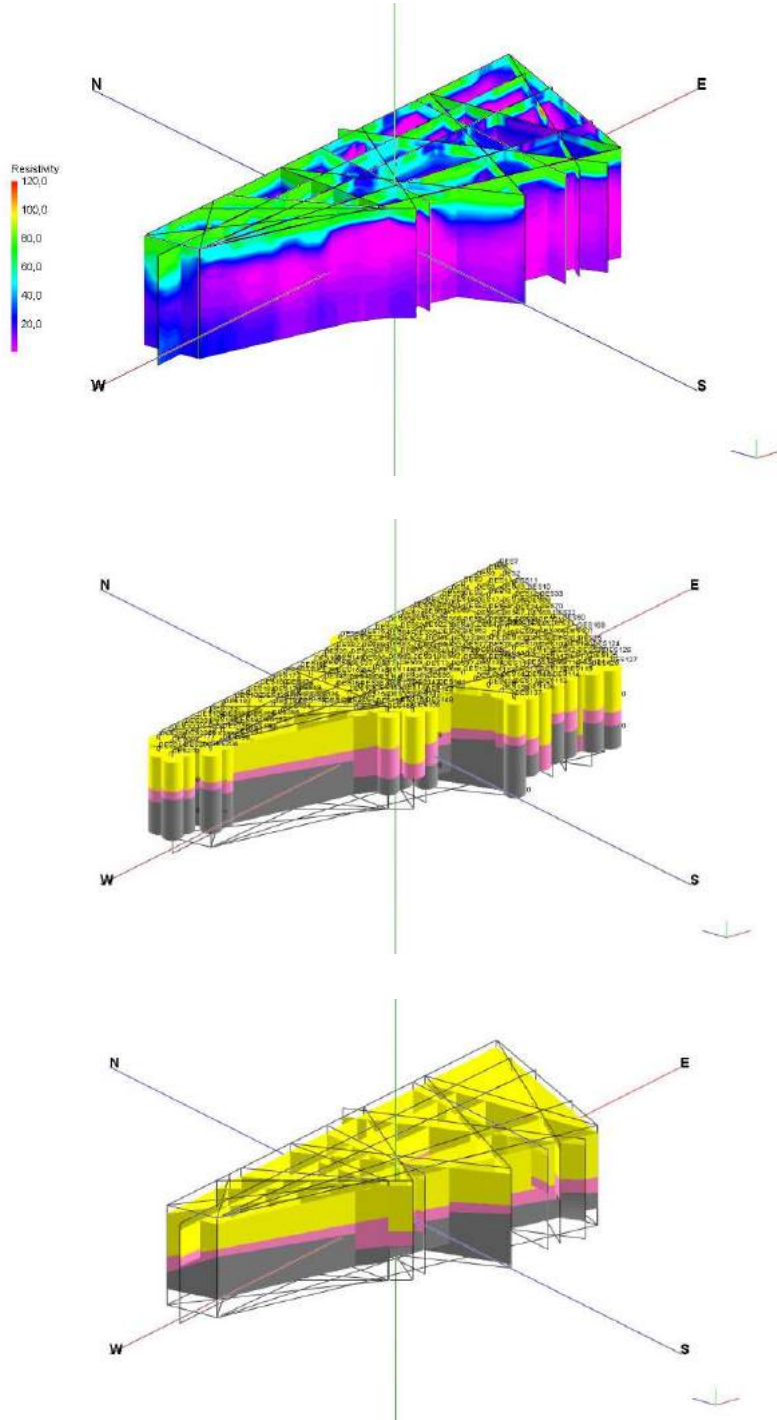


Şekil 14. L-L', M-M' ve N-N'' jeofizik enine kesitler ve jeolojik yorumları (kesitlerde, düşey ölçek metredir)

Çalışma alanının yeraltı jeolojisini yorumlamak amacıyla, tektonik yönelimler ile uyumlu olarak 3D öz direnç ve stratigrafi modelleri (katı model ve fence diyagramı) hazırlanmıştır (Şekil 15 ve 16).



Şekil 15. Çalışma alanının 3D öz direnç modeli

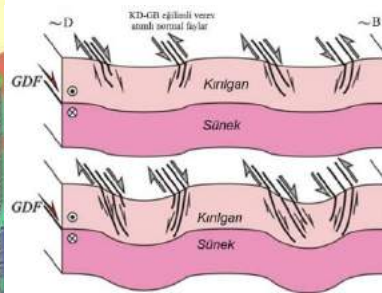
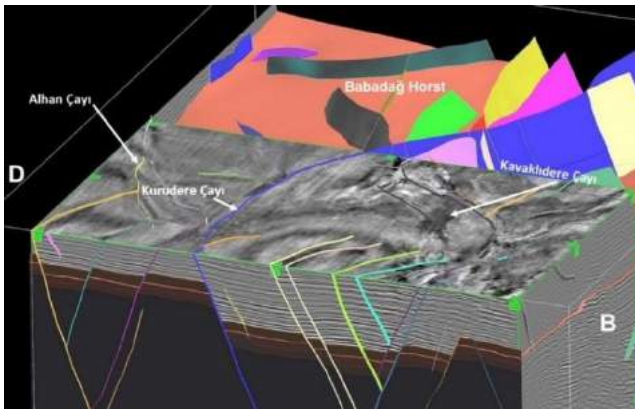
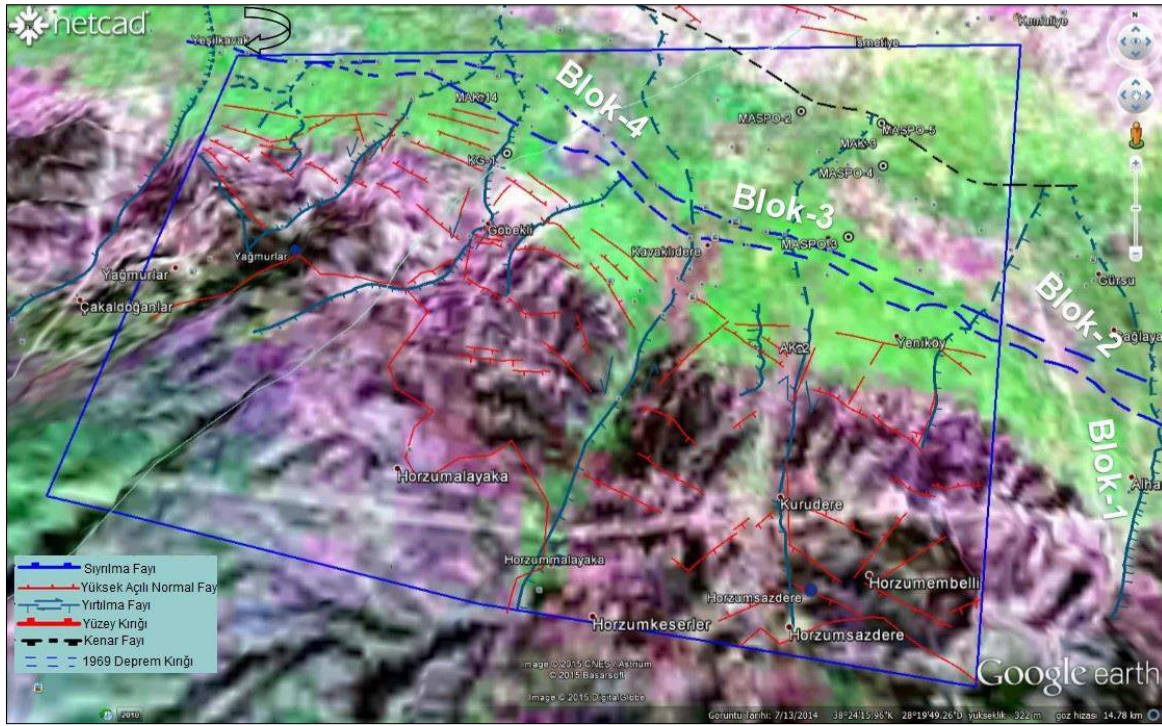


Şekil 16. İnceleme alanının öz direnç ve stratigrafi fence diyagramları

## 2.5. Jeotermal Potansiyel

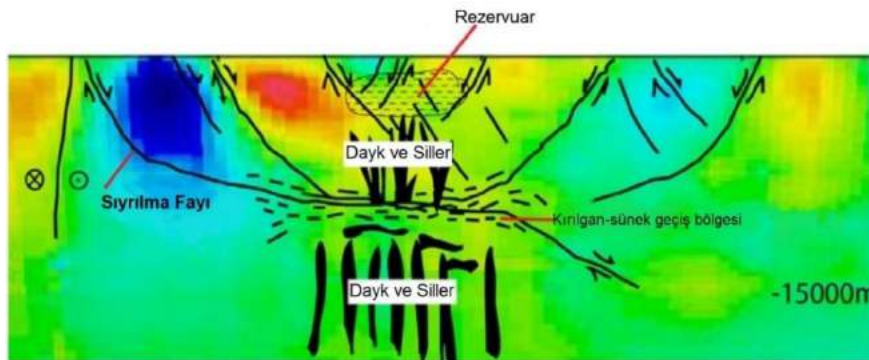
Çalışma alanının daha çok orta ve kuzey kısmında yer alan farklı yönelimli fayların kesişim noktalarında, beklenen termal faaliyetleri belirlemek amacıyla yapılan jeofizik ölçümlerin yeniden değerlendirilmesi sonucunda potansiyel jeotermal rezervuarlar belirlenmiştir (Şekil 17, Blok-3 ve Blok-4). Jeolojik ve tektonik yapı ile jeofizik ölçümlerin birlikte değerlendirilmesi suretiyle, bu alanlarda delinecek sondajlardan yüksek sıcaklık ve yüksek debiye sahip akışkan elde edilebileceği düşünülmektedir. Çalışma alanındaki jeotermal rezervuarların, genel olarak kuzey yönelimli yırtılma fayları ile Gediz Sıyırılma Fayı'nın kesişme alanlarında bulunduğu tespit edilmiştir. Sıyırılma fayı ile kesişen yırtılma faylarındaki sol okun, jeotermal akışkanlar için kanal görevi gören genişlemeli yamulmaları (küçük çek-ayır havzaları) temsil ettiği görüşüne varılmıştır. Sol ok, sıyırılma fayı yüzeyi boyunca tavan bloğu sedimanter kayaçları ile temel kayacın gnaysları, mermerleri ve şistleri arasındaki farklılıktan kaynaklanmaktadır. Bu kesişimlerde yığılan mermer, jeotermal akışkanlar için iyi bir rezervuar oluşturur. Rezervuarların, sıyırılma fayının yırtılma fayları ile kesişimi boyunca hafifçe kuzeye doğru saptığı görülmüştür. Havza kenar fayı veya yırtılma fayları ile BKB atımlı normal faylar arasındaki karmaşık fay kesişimlerindeki basamaklar, jeotermal akışkanın yukarı doğru akışını sağlayabilir. Yüksek öz direnç değeri sunan kayaçlar, en düşük gözeneklilik ve geçirgenliğe sahip soğumuş tabakalara sokulmuş kayaçlar olarak yorumlanmıştır.





Üstten GDF boyunca KD hareketine kadar, taban kayıcının gittikçe artan bir şekilde katlanmasının yanı sıra tavan bloğundaki çöküntülerin omuzlarında yer alan KD-GB eğimli verev atımlı normal faylar ortaya çıkabilir.

Şekil 17. Jeofizik ölçümler ve jeolojik yorumlar sonucunda ruhsat alanında tespit edilen potansiyel jeotermal rezervuarlar (Blok-3 ve Blok-4'teki mor ve bulanık renkli alanlar)



Şekil 18. Kavaklıdere jeotermal sahasındaki yapıların jeofizik ve jeolojik yorumunun özeti. Rezervuar bölgesi ile sistemin ısınsını sağlayan dayklar ve sillerin yerleri yorumlanmıştır (Özdemir ve diğ., 2017).

### 3. Sonuçlar

Jeolojik ve jeofizik verilerin birlikte değerlendirilmesi sonucunda, çalışma alanında çok sayıda horst-graben sisteminin varlığı belirlenmiştir ve birçok fay mevcuttur. Fay sistemleri, çoğunlukla KB-GD ve GB-KD yönlerinde gelişmiştir. Gelişen fay sistemleri, çoğunlukla birbirini takip eder şekildedir ve bazı faylar kollara ayrılmış durumdadır. Fay sistemleri ile birlikte düşük öz dirençli zonlar vardır. Faylar içerisinde dolaşan yüksek sıcaklıktaki akışkan, örtü kayalarda alterasyonlara neden olmuştur. Diğer bir deyişle,

jeotermal sistem ile ilişkili olan bölgelerin üst kısımlarında görülen düşük öz direnç değerleri, jeotermal etkinliğin öz direnç değerlerine yansımadır. Çalışma alanının KKD bölümünde, düşük öz direnç kapanımları tespit edilmiştir. 1600-1750 m derinliklerinde, jeotermal etki, belirgin hale gelmektedir. Derin seviyelerde, fay sistemleri ile ilgili düşük öz direnç alanlarının yaygınlığı, derinlik arttıkça jeotermal potansiyelin de arttığını göstermektedir. 1750-1900 m derinliklerinde, en düşük öz direnç dağılımı net olarak tespit edilebilmektedir. Bu derinliklerde, çalışma alanının K-KD bölümünde, jeotermal enerji potansiyelinin en güçlü belirteci olan rezistivite değeri en düşük değerlere ulaşmıştır. Havza dolgu çökellerinin derin seviyelerinde çok düşük öz direnç değerlerinin ölçülmesi, temel kaya içerisindeki yüksek sıcaklıklı akışkanların örtü kayada oluşturduğu alterasyon ve buna bağlı olarak oluşan elektrolitik ortamla açıklanabilir. 1900-2500 m derinliklerinde, durum oldukça farklıdır. Bu derinliklerdeki rezistivite değerlerinin göreceli yükselişi, bu seviyelerde temel birimlere girildiğini göstermektedir. Fakat, bu değerler, temel birimlerin rezistivitesini tam olarak yansıtmamaktadır. Rezistivitenin çok küçük değerlere kadar düşmesi, sahadaki sedimanter kayaçların kalınlığının fazla olması ve buna bağlı olarak temel derinliğinin artması, görünür rezistivite değerlerini maskeleymektedir. Yüksek öz direnç değeri veren kayaçlar, en düşük gözeneklilik ve geçirgenliğe sahip soğumuş tabakalara sokulmuş kayaçlar olarak yorumlanmıştır.

## Kaynakça

- Erden, F., 1965. Salihli-Manisa gravite etüdü. MTA Report No: 3931
- Faulds, J., Bouchot, V., Moeck, I. and Oguz, K., 2009. Structural controls of geothermal systems in western Turkey: a preliminary report. Geotherm. Resou. Counc. Trans., 33, 375-383
- Gürsoy, T., 1981. Turgutlu-Alaşehir Gravite Jeotermal Etüt Raporu. MTA Derleme No:6695
- FNÇ Inc., 2012. Alaşehir Field Resistivity Survey Project Result Report, 122 p.
- Koçyiğit, A., 2014. Active Tectonic Evaluation of Kavaklıdere (Manisa) License Areas. 52 p.
- MTA, 2010a. Manisa ve Civarı Jeotermal Enerji Aramaları Jeofizik (Gravite-Manyetik) Etüd Raporu (Yıldırım, G.).
- MTA, 2010b. Alaşehir (Manisa) Jeotermal Enerji Aramaları Projesi Jeofizik MT (magnetotelluric) AMT (audiomagnetic) Elektrik Öz direnç (VES) ve Radyometrik (gamma-ray spektrometre) Etüd Raporu (Bostan, S., Karzaoğlu, H. ve Küçük, M.).
- MTA, 2011a. Manisa Alaşehir Jeotermal Enerji Sahası MAK-14 ve MAK-3 Kuyularının Özet Değerlendirilmesi (Dünya, H.).
- MTA, 2011b. Manisa Alaşehir Jeotermal Enerji Sahası MAK-15 Jeotermal Kuyu Geliştirme ve Bitirme Test Raporu (Dünya, H. ve Bilgiç, Ö.).
- MTA, 2011c. Manisa Alaşehir Jeotermal Enerji Sahası MAK-14 Jeotermal Kuyusunun RCHP ile Temizliği, Asitleme-Geliştirme ve Bitirme Test Raporu (Dünya, H., Bilgiç, Ö. ve Akgun, B.).
- MTA, 2011d. Manisa Alaşehir Kavaklıdere Jeotermal Enerji Sahası MAK-2011/3 Kuyu Tamamlama Test Raporu (Dünya, H., Bilgiç, Ö. ve Akgun, B.).
- MTA, 2011e. Manisa Civarı (Alaşehir-Kavaklıdere) Jeotermal Enerji Aramaları Projesi (Proje No: 2010-33-13-04-7) MAK-2010-14, MAK-2010-15 ve MAK-2011-03 Jeotermal Sondajları Kuyu Bitirme ve Test Raporu (Burçak, M. ve Dünya, H.).
- MTA, 2011f. Manisa Alaşehir-Kavaklıdere Sahası Jeotermal Etüt Raporu (Burçak, M., Bostan, S., Karzaoğlu, H., Yıldırım, G. ve Küçük, M.).
- Özdemir, A., 2015. Kavaklıdere (Alaşehir/Manisa) Jeotermal Sahasının Yeni Yeraltı Jeolojisi ve Jeotermal Modeli. 623 s. (Yayımlanmamış)
- Özdemir, A., Yasar, E. and Cevik, G., 2017. An importance of the geological investigations in Kavaklıdere geothermal field (Turkey). Geomechanics, Geophysics, Geo-Energy and Geo-Resources, 3, 29-49
- Özdemir, A. and Palabıyık, Y., 2019a. Role of scissor faults in geothermal reservoir occurrence. II. Ulusal Mühendislikte Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar Kongresi, 07 - 10 Kasım 2019, Ankara (baskıda)
- Özdemir, A. and Palabıyık, Y., 2019b. A new method for geological interpretation of 3D MT (Magnetotelluric) depth maps of high-temperature and deep geothermal fields: A case study from Western Turkey. 2<sup>nd</sup> International Congress on Applied Sciences, 28-30 October 2019, Ankara, 28-42
- Palabıyık, Y. and Özdemir, A., 2019. Potential of detachment folds to become a geothermal reservoir in a horst. II. Ulusal Mühendislikte Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar Kongresi, 07 - 10 Kasım 2019, Ankara (baskıda)
- Şener, Ç., Yücel, M. ve Karagöz, Ş., 1993. Manisa Turgutlu-Salihli-Alaşehir Sahası Jeotermal Enerji Aramaları Jeofizik Etütleri (Doğru Akım Öz direnç-CSAMT-Sismik) Raporu, MTA Derleme No:9625
- Şimsek, Ş., 2012. Advisory Report on Geological-Hydrogeological-Geophysics and Potential Assessment Evaluation of Manisa-Alaşehir-Kavaklıdere Geothermal License Areas and Determination of the Exploration/Production/Reinjection Well Locations. 272 p.
- Türk, S., 2014. Sismic Structure and Tectonics of the Alaşehir-Gediz Graben, Western Turkey, Miami University, Master Thesis of Science. 42 p.
- Ünal, A. ve Havur, E., 1971. Alaşehir-Salihli Bölgesinin Jeotermik Enerji Yönünden Detay Jeoloji Etüdü. MTA Raporu No ; 4678
- Yazman, M.K. ve İztan, H., 1990. Alaşehir'in (Manisa) Jeolojisi ve Petrol Olanakları. TPAO Exploration Group, unpublished technical report, 18 p.
- Yazman, M.K., Güven, A., Ermiş, Y., Yılmaz, M., Özdemir, İ., Akçay, Y., Gönülalan, U., Tekeli, Ö., Aydemir, V., Sayılı, A., Batı, Z., İztan, H., Korucu, Ö., 1998. Alaşehir Grabeni'nin ve Alaşehir-1 Prospektinin Değerlendirme Raporu. TPAO Exploration Group, unpublished technical report, 142 p.
- Yılmaz, S., Pasvanoğlu, S. and Vural, S., 2010. The relation of geothermal resources with young tectonics in the Gediz Graben (West Anatolia, Turkey) and their hydrogeochemical analyses. Proceedings World Geothermal Congress 2010, 25-29 April 2010, Bali, Indonesia, 1151 -1161
- WesternGeco Inc., 2012. Magnetotelluric Survey, Alaşehir, Turkey, 3D Modeling Report, 45 p.





# Karayollarında Yeni Teknolojik Gelişmeler Üzerine Bir Değerlendirme

Kemal Armağan<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karaman, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4443-0761)

(İlk Geliş Tarihi 1 Aralık 2019 ve Kabul Tarihi 31 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.661103)

**ATIF/REFERENCE:** Armağan, K. (2019). The New Technological Advances in Highway Pavements: A Review. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1092-1096.

## Özet

Yollar, sosyal faydalarla birlikte, bir toplumda ekonomik kalkınmaya ve büyümeye katkıda bulunmada önemli bir rol oynar. Bu nedenle, bir ülkenin gelişmesinde hayati rolü bulunmaktadır. Dünyada karayolu uzunluğu 16,3 milyon Km olsa da her ülkeye bağlı olarak, yeni inşaat ve bakım ihtiyacı her zaman bir zorunluluktur.

Öte yandan, küresel değişimler, asfalt endüstrisinin muaf olmadığı, sürdürülebilirlik çerçevesi içinde faaliyet göstermesi için tüm sektörleri baskı altında tutuyor. Bu nedenle karar vericiler atmosferi, insan sağlığını ve rahatlığını korumak için günlük düzenlemeler yapıyorlar. Bu koşullar altında, hükümetler ve akademisyenleri de içeren karayolu endüstrisinin tüm paydaşları, teknik iyileştirmeler ile düşük maliyetli, çevre ve insan sağlığı çözümleri arasındaki dengeyi sağlayarak, korumayı teşvik eden yeni teknikler ve materyaller aramaktadır. Herhangi bir "doğru" ürün, üretim, teknik, tesis, fon kullanımının değeri, bu bağlamda her paydaş için giderek daha önemli hale gelmektedir.

Bu çalışmada yol kaplamalarındaki yeni teknolojik gelişmeler dikkate alınarak, sürdürülebilirlik bakımından değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Asfalt kaplama, dayanıklılık, sürdürülebilirlik, teknolojik gelişmeler.

## A Review on New Technological Advances in Highways

### Abstract

Roads, together with social benefits, play an important role in contributing to economic development and growth in a community. For this reason, they play a vital role in national growth production. Although in the world its length is 16.3 million Km, depending on each country, the need for new construction and maintenance is always a must.

On the other hand, global changes pressure all sectors to operate within the sustainability framework, where the asphalt industry is not exempt. Also, decision-makers are issuing day-to-day regulations to protect the atmosphere and human health and relief for this reason. Under these conditions, all the stakeholders of highway pavement industry including governments and academicians are searching for new techniques and materials, promoting conservation, indicating that by balancing between technical improvements and cost-effective environmental and human health care solutions. The value of the use of any "right," product, production, techniques, facility, the fund is becoming more and more important to each stakeholder in this regard.

In this study, new technological developments in road pavements are taken into consideration and evaluated in terms of sustainability.

**Keywords:** Asphalt pavement, durability, sustainability, technological developments.

\* Sorumlu Yazar: Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karaman, Türkiye, ORCID: 0000-0002-4443-0761, [kemalarmagan@kmu.edu.tr](mailto:kemalarmagan@kmu.edu.tr)

## **1. Introduction**

Demand for fossil fuels is rising rapidly over time; the prospect of non-renewable energy generation needs to be halted. This over-consumption and related threats are also pressing the climate and the economy. Global energy consumption levels for non-renewable energy grew to 80 per cent in 2004 and will continue to rise over the next 20-30 years due to population growth as a critical factor (Giridiyal & Singh, 2017). This level results in a large amount of CO emissions and greenhouse gasses being released into the atmosphere raising concerns about rising sea levels, rising mean temperatures and extreme weather conditions. Increasing energy demand would lead to an increase in the price of fossil fuels which leads to tax policies and thus to higher electricity bills for end users. The main issue is that the fossil fuels used in recent generations are exhaustible, by one definition, by one word, exhaustible (Rojey, 2009). These conditions also require new developments in transportation industry namely using roller compacted concrete, concrete pavements as an alternative material to asphalt (Calis & Yildizel, 2019).

With the developments in materials, design methods and road construction machinery used in road construction in the world, road users, road building authorities and all remaining road industry stakeholders must keep up with the new regulations and expectations that are changing day by day. Developments in batteries, fuel cells and other energy storage technologies used in electric cars come to the forefront as solutions to reduce the dependence on fossil fuel resources in the future.

In addition, these technologies, such as autonomous vehicle technologies, vehicle-vehicle and vehicle-road communication technologies, have been added to these technological developments in the coming years. By these technological developments, a safer, reliable, predictable, controlled, integrated, effective and much more interactive road usage can be realized. In some developed countries there are some of these technologies in use but projects such as 5th Generation Road Project will combine these technologies together.

In this study, information about new technological advances in highways, the expectations of road users from the road and their expectations from their journeys are given. Also, an assessment has been made on how much advanced technology usage in new projects can meet the expectations of road users. Lastly, these technological developments have been evaluated in terms of sustainability concept, which is used frequently in improving the existing road network in developed countries.

## **2. Technological Developments**

In the last century, technological developments have increased rapidly, and through extensive use of the Internet and quick access to knowledge, the rate of improvement has risen to a different level. Personal characteristics and attitudes have significantly changed due to smart technology innovations. Smart software, smartphones, smart homes and smart car technologies are becoming very popular. Such advances and their widespread use in actual life have also modified human behavior and perceptions. Recently, it is seen that governments are making technological transformations in their systems for their people, that companies are also renovating and modernizing their production systems, that the quality and quantity of their goods for the new market are becoming more and more common and significant, as is the use of capital. On the other side, all these changes should be made in the context of the sustainability strategy. From this point of view, the use of 'right' facilities, such as goods, development, funds, techniques, etc., under the sustainability approach is becoming more and more relevant.

As stated in the IISD report of the G7 countries, a group of finance ministers and central bank governors agreed to phase out the use of oil, gas and coal by the end of 2100. A sort of agreement to seek sustainable solutions from leading countries offers a green light to major investment opportunities around the globe (Kour, 2016).

With the spread of information and technology, the role and importance of technology in our lives have started to become more apparent. Application of software's have become widely common in all engineering areas (Misir, 2018). It is one of the facts of our day, where people are used to the ease of technology and always want more, as well as the positive and negative aspects of growing the role of technology in human life.

The need for economic gain and comfort is growing, as shown in Fig 1. Like many sectors, road industry stakeholders come up with different solutions and renew themselves in accordance with these innovations. Nonetheless, technological developments often require several improvements from the road business. Some of these changes are road & signaling will serve the car, new uses & impacts on the infrastructure have developed, need for energy & connectivity through the infrastructure have constructed, data which is the new infrastructure actor usage have improved, and intelligent cars & evolution of the value chain have significantly improved (Bastien, 2018).

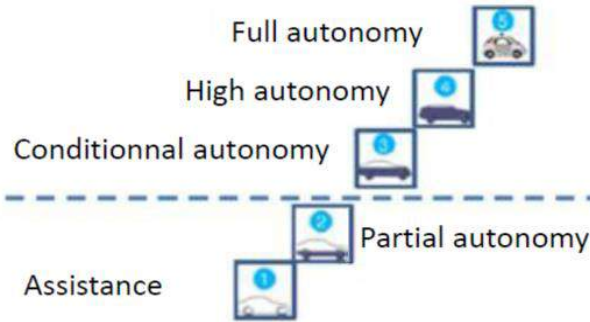


Fig.1. Smart car to a fully automatic car (Bastien, 2018).

There are two ongoing projects in Europe named “The Fabric Project” and “5th Generation Road (R5G) Project” to effectively use the roads for hybrid or electric cars and buses, as seen in Fig 2 and Fig 3 (Hautière, 2018; Perrin, 2014). In Fig 2, the schematic theory of electrical infrastructure and ICT solutions relevant to the operation of an on-road dynamic inductive charging station has been demonstrated (Perrin, 2014).

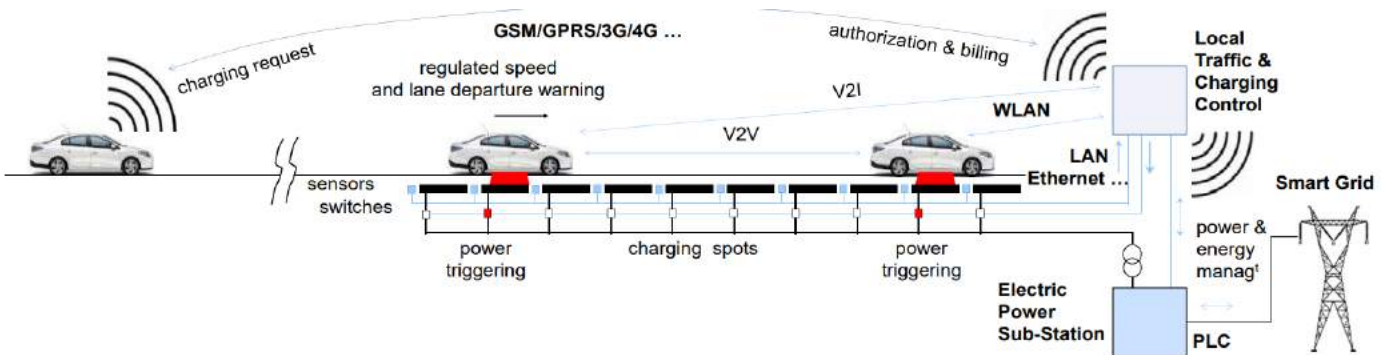


Fig.2. FABRIC smart electric car charging road EU project (Hautière, 2018).

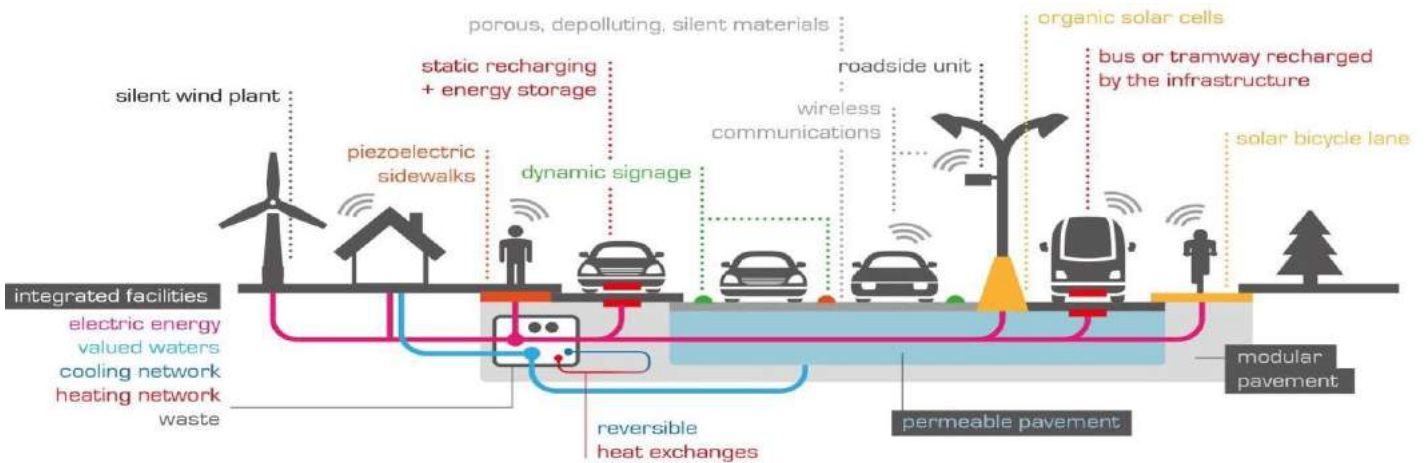


Fig.3. 5th Generation Road (R5G) Project (Hautière, 2018).

The developments like environment friendly organic resin-based roads such as Eco-Pave, dynamic paints in a pavement that can change due to whether or temperature, glowing-in-the-dark road markings, wind powered lights, wireless electric vehicle charging, solar energy roads, piezoelectric roads and wireless intelligent network have developed in past years (Metcalf, 2012). In addition to all these developments static and dynamic charging, dynamic signage, porous, depolluting and silent material usage, organic solar cell usage and solar bicycle lane have developed. Also, modular and permeable pavement, reversible heat exchange usability has found, the electric energy, valued waters, cooling-heating networks and waste have associated in integrated facilities. Most of the developments mentioned above have combined in 5th generation roads (Hautière, 2018).

The Korea Advanced Technology Institute (KAIST) has established another advance which is a wireless powered on-line electric vehicle (OLEV). The battery in the vehicle can be remotely charged from the wireless power transmitters embedded in the road using advanced wireless power transmission technology as shown in Fig 4. Since the OLEV is a road-integrated electrical vehicle device that can remotely pick up power from the wireless power transmitters located under the lane, as can be seen in Fig. 5, the battery life depends on the distribution of the wireless power transmitter (Jeong, Jang, & Kum, 2014).





Fig. 4. OLEV bus (Jeong, Jang, & Kum, 2015).

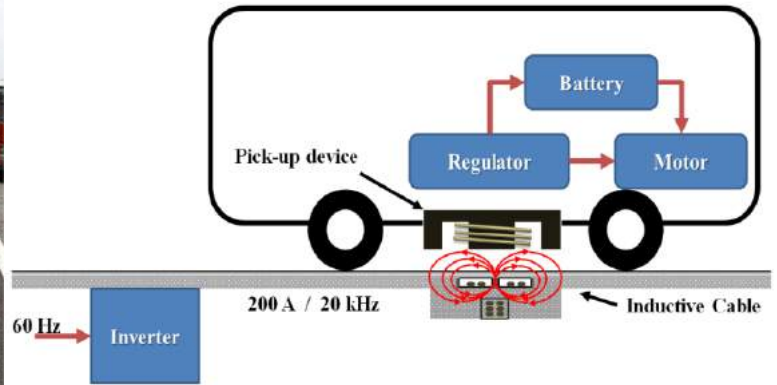


Fig. 5. Electrical charging mechanism from the road (Jeong et al., 2014).

### 3. Human Needs

In order to developments in technology, road user needs have changed and their expectations from roads have generally increased.

As far as roads and traffic are concerned, they are most likely to be concerned with issues surrounding ease of mobility, accessibility, and the quality of their journeys (PIARC, 2019). Road users need surfaces without dips, bumps, potholes, undulations or deep ruts; in other words, consistently flat asphalt surfaces with straight white lines and 'cat eyes'. The Table 1 below can be categorizing the needs of road users (Khojinian, 2018);

**Table 1.** The needs of road users (Khojinian, 2018; PIARC, 2019).

No	The categorized need of the road user
1	Improved safety further decreases in road accidents and fatalities,
2	Improved traffic flow and reduced delays generally,
3	Reduced congestion and improved road capacity prediction quality,
4	Better surface quality, signaling and lighting,
5	Better reliability of travel and better interconnecting between modes,
6	Better roadside facilities,
7	Better travel and less disruption in infrastructure and working areas,
8	Better alignment with other roads,
9	Enhanced protection for bicycles and pedestrians,
10	Responding to the needs of bus and coach operators and their customers to improve access to longer distance services,
11	Timely and reliable data in order to be able to make informed travel decisions for road users and the logistics sector,
12	Future-proofing of new investments to ensure that projects are ready to respond to advances in vehicle and navigation

### 4. Sustainability

Sustainability is described as "Sustainable development is a development that meets the needs of today, without sacrificing the capacity of future generations to meet their own needs" by the World Commission on Community and Development. The term focuses on the concept of 'needs' and the concept of limitations imposed by state-of-the-art technology and social organization on the capacity of the community to meet current and future needs (Thomas J. Van Dam, et al., 2015).

Economic deductions in investments, exchanges in social expectations, the need to comfort and safety in daily life, improved understanding of sustainability approach and such things like that have pushed people to produce innovative solutions. So, the road users, the governments and all the remaining stakeholders such as industry have effected from these technological advances.

Opportunities to increase pavement sustainability occur throughout the pavement life cycle and have the potential to deliver enormous economic, environmental and social benefits. A few examples of the advantages of being more sustainable on the three pillars

of sustainability are reduced life-cycle costs, reduced energy usage, reduced noise pollution, improved air quality, improved water quality, improved safety, improved ride quality, conservation of resources, reduced landfill space (FHWA, 2018).

Technologies in 5th Generation Road Project such as, static recharging, organic solar cells, recharging by the infrastructure for buses and tramways, solar bicycle lanes, piezoelectric sidewalks, reversible heat exchange modules are very good usage examples of a sustainable road. When these technologies are used together, they can increase the benefits and the efficiency of energy usage. So, the energy need for the new technologies in the road can be obtained from the road and the near facilities to the road. Also, wireless communication systems can help to achieve more fluent traffic flow, so the energy consumption due to traffic congestion can decrease.

## 5. Conclusions

The place of technology and its benefits in human life is increasing very significantly. Needs from every industry are changing and this demand leads to new solutions, for example, full autonomy in cars with interactive information systems, ongoing electrical charging from roads. The RG5 project aimed to build a road-friendly approach that would encourage road innovation. There are also advances in pavement materials as well as building techniques. However, building such an eco-road system is not an individual technology. Also, it is essential to make these roads more durable so that the maintenance and repair costs of these roads are as high as the construction costs, and that the buried electronic materials can operate more efficiently without deterioration. At this point, it is thought that the developments in the new road construction techniques are becoming the foreground in the construction of more durable roads. If a comparative analysis done between human needs and technological advances the obtained results can be like below;

\* The increased autonomy in vehicles and communication in car to car and car to road technology usage can decrease the road accidents and fatalities, so a safer road travel for vehicles, bicycle users and pedestrians can be provided.

\* The increased wireless communication of road, vehicle and road operator can provide a fluent traffic flow, reduced congestion, reduced delays, improved road capacity prediction quality, more reliable travel, better interconnecting between other modes and more reliable data for travel decisions to road users and logistic sector.

For a sustainable road design and usage, only the road material and design method cannot be enough in the future. To design a more energy efficient road system, 5th Generation Road Project can be a leading project for future roads. In this context, along with ongoing and new researches, it is expected that different engineering branches need to work together to produce a sustainable, durable, eco-friendly road system that meets the expectations of road users. This study is thought to create an awareness about these technologies and lead to a multidisciplinary study for applied analysis.

## References

- Bastien, G. (2018). How will new technologies impact our roads in the future? *E&E 2018 Preparing The Asphalt Industry For The Future*. Berlin.
- Calis, G., & Yıldız, S. A. (2019). *Investigation of roller compacted concrete : Literature review*. 10(3), 63–74.
- FHWA. (2018). Pavements Why is sustainability important in pavement systems ? Why do Roads Matter ? What are the Benefits of Being More Sustainable ?
- Giridiyal, D., & Singh, P. (2017). *Performance Analysis of Piezoelectric Materials in Energy Harvesting*. 4(6), 29–34.
- Hautière, N. (2018). 5th Generation Road Programmes. *E&E 2018 Preparing The Asphalt Industry For The Future*.
- Jeong, S., Jang, Y. J., & Kum, D. (2014). Design optimization of the OLEV system considering battery lifetime. *2014 17th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems, ITSC 2014*, (May 2015), 2492–2498. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2014.6958089>
- Jeong, S., Jang, Y. J., & Kum, D. (2015). Economic Analysis of the Dynamic Charging Electric Vehicle. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 30(11), 6368–6377. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2015.2424712>
- Khojinian, A. (2018). Strategic Road Investment Plan 2020-25 and Transport Focus Road Users Survey. *E&E 2018 Preparing The Asphalt Industry For The Future*. Berlin.
- Kour, R. (2016). Piezoelectric Roads: Energy Harvesting Method Using Piezoelectric Technology. *Innovative Energy & Research*, 5(1), 1–6. <https://doi.org/10.4172/2576-1463.1000132>
- Metcalf, J. (2012). 9 Technologies for Building the “Road of the Future” - CityLab. *City Lab*, 1–7. Retrieved from <https://www.citylab.com/life/2012/12/9-technologies-building-road-future/4219/>
- Misir, G. (2018). Predicting the uplift capacity of vertically located two-plate anchors. *Acta Geotechnica Slovenica*, 15(2), 47–57. <https://doi.org/10.18690/actageotechslov.15.2.47-57.2018>
- Perrin, J. (2014). *On-Road Charging of Electric Vehicles : the Fabric Project*. (April). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18735.94883>
- PIARC(World Road Association). (2019). Road Network Operations & Intelligent Transport Systems a Guide for Practitioners!
- Rojey, A. (2009). Energy & Climate: How to Achieve a Successful Energy Transition. *Energy & Climate: How to Achieve a Successful Energy Transition*, 1–153. <https://doi.org/10.1002/9780470746318>
- Thomas J. Van Dam, John T. Harvey, Stephen T. Muench, Kurt D. Smith, Mark B. Snyder, Imad L. Al-Qadi, Hasan Ozer, Joep Meijer, Prashant V. Ram, Jeffery R. Roesler, and A. K. (2015). Towards Sustainable Pavement Systems : A Reference Document. *FHWA-HIF-15-002*.



## **Finansal Teknoloji Şirketleri ve Geleceğin Bankacılığı: Açık Bankacılık**

Doğuş Bilgel<sup>1\*</sup>, Besim Aksoy<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Finberg, Maslak, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0026-8675)

<sup>2</sup> Fibabanka Ar-Ge Merkezi, Şişli, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2634-0727)

(İlk Geliş Tarihi 13 Kasım 2019 ve Kabul Tarihi 31 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.646196)

### **Öz**

Bankacılık ve finans sektöründe ürün gelişimine yönelik stratejik hedefler, küresel para piyasalarını şekillendiren ve bu sürece bağlı olarak yeni teknolojik gelişmeleri tetikleyen önemli unsurların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Açık bankacılık ve finansal teknoloji şirket modelleri, küresel para piyasalarının teknolojik olarak ortaya çıkardığı dönemseller ürünlerdir. Bu tür teknolojik gelişimlere uyum sağlanması ise, ülkelerin teknolojik altyapısına bağlı olarak bu ürünlerin uygulanmasını ve adaptasyon süreçlerini etkilemektedir. Bu süreçte, bankaların finansal teknoloji şirketleri ile ortak bir strateji çatısı altında bankaların uygulama programlama ara yüzleri gibi çeşitli altyapı hizmetlerini kullanmak suretiyle optimize edilip yeni ürünlerin ortaya çıkarılması sağlanabilir.

Bu çalışmada, Türkiye bankacılık sektörünün uygulama programlama ara yüzlerinin altyapı çerçevesinde finansal teknoloji şirketleri ile olası strateji hedeflerinin tartışılarak, elde edilebilecek yeni ürünlerin teknolojik gelişmeye olan katkısı değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bankacılık, Açık bankacılık, Finans Teknoloji Şirketleri, Uygulama Programlama Ara yüzleri

## **Financial Technology Companies and Future Banking: Open Banking**

### **Abstract**

Strategic goals for product development in the banking and finance sectors lead to the emergence of important elements that shape the global money markets and trigger new technological developments related to this process. Open banking and financial technology company models are the periodical products of global money markets. Adapting to such technological developments affects the implementation and adaptation processes of these products depending on the technological infrastructure of the countries. In this process, it can be ensured that new products can be optimized by using various infrastructure services such as application programming interfaces of banks under the common strategy of banks with financial technology companies. In this study, Turkey in the framework of the banking sector infrastructure application programming interfaces discussion of possible strategies target the financial technology companies, contributed to the technological development of new products which have been evaluated can be obtained.

**Keywords:** Banking, Open Banking, Financial Technology Companies, Application Programming Interfaces

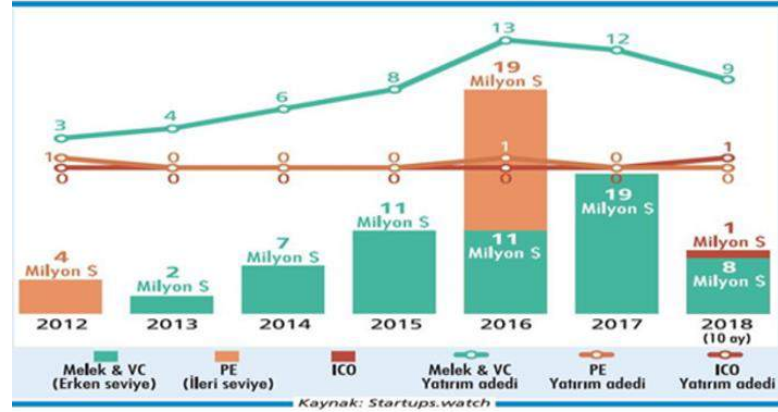
### **1. Giriş**

Günümüzde teknolojinin her alanda hızla gelişmesiyle birlikte birçok iş kolunda olduğu gibi finans sektöründe de çağa ayak uydurma, dijitalleşme ve kaliteli hizmet verebilmek adına birçok atılım yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır (Devrim, 2007). Bu gibi teknolojik gelişmeleri yapmak ciddi maliyetler yaratması sebebiyle bankalar kendi bünyelerinde yapabilmeleri bazı mali çekinceler doğurmuştur (Tanyeri ve Fırat – 2005). Fintek; geleneksel bankacılık ve finans piyasası işlemlerinin yavaş, çok fazla prosedürü olan, karmaşık yapısından sıyrılarak hızlı ve efektif çözümler sunan, çağa ayak uyduran teknolojiler sunmayı hedeflemektedir.

Finansal teknoloji şirketleri günümüzde makine öğrenimi(machine learning), davranış analizi, veri merkezli pazarlama ve API(Application Programming Interface)'leri kullanarak yeni teknolojiler geliştirmekte ve finansal alanda varlıklarını açıkça hissettirmeye başlamıştır. Geçtiğimiz yıl dünya genelinde fintek alanında yapılan yatırım miktarı 22,5 milyar Amerikan Doları'na bulmuştur. Ülkemizde ise e-ticaretin gelişmesi ve mobil bankacılığa duyulan ilginin artmasıyla birlikte büyük yatırımlar yapılmaya başlanmıştır (Kantar vd. 2017).

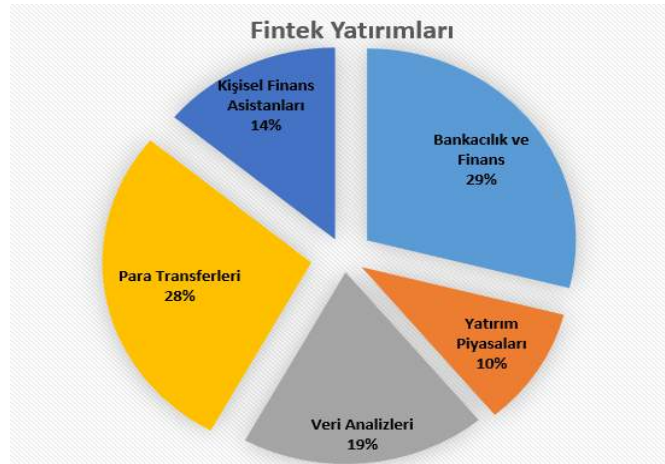
\* Sorumlu Yazar: Finberg, Maslak, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0003-0026-8675, [dogus.bilgel@finberg.com.tr](mailto:dogus.bilgel@finberg.com.tr)

### Türkiye'deki Fintek Yatırımları



Şekil 1: Türkiye'deki Fintek Yatırımları

Türkiye'de Fintek sayısı çoğalırken hizmet çeşitlilikleri de artmaya başlamıştır. 2019 Nisan itibariyle Türkiye'de 300'ün üzerinde fintek bulunmaktadır (Yağcı, 2018).



Şekil2: Türkiye'de ki Fintek Yatırımlarının Dağılımı

Dünya genelinde geleceğin bankacılığı olarak nitelendirilen Açık Bankacılık (Open Banking) sistemi fintekler için, sağlam bir argüman niteliği kazanmış durumdadır. Öyle ki bankalar müşterilerinin kayıt altında tuttukları bilgilerini (ödeme tutarları, yapılan harcama bilgileri, düzenli ödenen faturalar vb. gibi bilgileri) müşteriler tarafından verilecek izinler doğrultusunda finteklerin kullanımına açarak hizmet çeşitliliği yaratmaya başlamıştır (Ersoy, 2017). Ülkemizde ise belli başlı kurumlar dışında bu verileri API(Application Programming Interface)'ler aracılığıyla paylaşan kurum sayısı çok azdır. Bu kurumlara Tablo.3'te detaylı şekilde yer verilmiştir. Bankalar geçmişte bu kadar büyük veriyi toplamalarına rağmen işleyememeleri teknolojik gelişim ve dijital dönüşüm noktasında en büyük handikapları olmuştur. Bu durumlar göz önüne alındığında ülkemizde de açık bankacılık sisteminin işlem çeşitliliği, yeni hizmetler, zamandan tasarruf sağlayan, daha güvenilir bir hizmet anlayışı sağlaması bakımından ele alınması gerekliliği doğmuştur. Açık bankacılık servisleri ile bankalar müşterilerine daha düşük maliyetle daha kaliteli hizmet verme imkânı yakalamaktadırlar. Aynı zamanda farklı kanallardan müşteri kazanma ve cirolarını artırma olanağı yakalayan bankalar, API marketlerini zenginleştirmeye devam etmektedir.

Fintek ve Açık Bankacılık anahtar kelimelerini akademik kaynaklarda araştırdığımızda ise bu alanda yazılan kaynakların azlığı, akademik bir araştırma ihtiyacını doğurmuştur. Haziran 2019 tarihi itibariyle Türkiye'deki kaynakları incelemek amacıyla, YÖK Tez Veritabanı ve Tübitak Ulakbim Veritabanı incelendiğinde "Fintek", "Açık Bankacılık" anahtar kelimeleri ile yapılan araştırmada sadece 2 adet yüksek lisans tezi (Göktepe, 2018), (Bilgiç, 2019) ve 2 adet makale (Taştan, 2019), (Menteş, 2019) tespit edilmiştir. Bu çalışmalar incelediğinde ise ağırlıklı olarak "Fintek" anahtar kelimesi üzerine yazılmış oldukları tespit edilmiştir. Fintek alanında ve "Açık Bankacılık" anahtar kelimesi ile yazılan çalışmaların azlığı, bu alanlarda akademik çalışmalara ihtiyaç olduğu göstermektedir.

Uluslararası akademik kaynakları incelediğimizde ise "Fintek" ve "Açık Bankacılık" anahtar kelimelerine baktığımızda akademik yayınların büyük kısmının "Açık Bankacılık" üzerine incelemeye yoğunlaştığı görülmektedir.



Veritabanı	Anahtar Kelimeye Göre Toplam Yayın/Sonuç Sayısı	
	Fintech	Open Banking
ScienceDirect	384	40.234
Google Scholar	27.600	65.100
Springer Link	1.110	294
Jstor	136	3.980

Tablo 1: Fintek ve Açık Bankacılık Alanındaki Akademik Çalışmalar (Academic Research on Fintech and Open Banking)

## 2. Materyal ve Metot

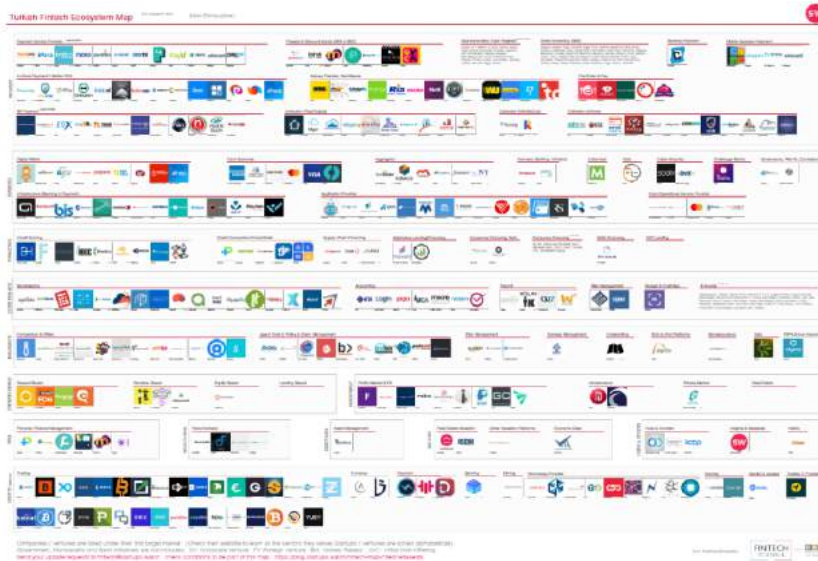
### 2.1.Finansal Teknoloji Şirketleri

Teknolojinin gelişmesiyle iş alanlarının teknolojiyi kullanmadan gelişmesi imkânsız hale gelmişti. 2008 krizinden sonra bunu fark eden finans sektörü de Fintek sektörüyle teknolojiye ayak uydurmuştur. Finansal teknolojilerin kısaltması olan Fintek Bill Gates'in 1994'te söylediği meşhur bir sözü olan "Bankacılık gereklidir, bankalar değil." (Beck,2001) düşüncesiyle ortaya çıkmıştır. Fintekler bankalara alternatif olmakla beraber aynı zamanda bankaların kendini geliştirmesine, müşterilerine yeni fırsatlar sunmasına imkân vermektedir. Ayrıca müşterileriyle bire bir iletişimi azalan bankalar müşteri bağlılığı konusunda sorun yaşamaktadır. Bu tehdidi ortadan kaldırmak isteyen bankalar fintekler ile ortak çalışarak müşteriyle olan iletişimi koparmamak gibi bir hedef belirlemişlerdir.

Büyük teknoloji firmaları Amazon Pay, WhatsApp Pay, Apple Pay, Google Pay, Ali Pay de özel ödeme seçenekleri sunmasıyla bankalar da kendini yeni akımlara uyum sağlayarak geliştirmek zorunda kalmıştır. Çünkü bu büyük teknoloji firmaları sunacakları yeni ve kolay seçeneklerle dijitalleşen dünyada müşterilere çok daha rahat ulaşarak bankaların etkinliği azaltıp finans sektörünün yeni söz sahibi olmaya çalışmaktadırlar. Tekfin adı verilen bu şirketlerin sundukları ana fikir ise cüzdan uygulamalarıyla insanların artık yanlarında nakit para, kredi veya debit kartları bulunmadan sadece telefonlarıyla bütün ödeme, para transferleri ve parayla yapılabilecek her türlü etkinliği kolay ve hızlı ve zahmetsiz bir şekilde yapabilesidir.

İnsanların her zaman en kolay yolu, nakit para yerine kredi veya debit kart kullanımı gibi, seçmesini fırsat olarak bilen bu firmalar ulaşabildikleri müşteri sayısının da herhangi bir finans şirketine oranla çok daha fazla olmasıyla geleceğin bankacılığının sahibi olmak istemektedirler. Fintekler ve bankaların ortak ve ayrı çalışmaları ve tekfinlerin de ortaya çıkmasıyla bankacılık dijitalleşme yolunda önemli adımlar atmaya başladı. Kısaca fintekler müşterilerine dijital kanallar yardımıyla çeşitli fırsatlar sunan yeni bir finans sektörüdür. Ödemeler, API sağlayıcıları, kripto para piyasası, fatura ödeme, borçlar ve kredi puanlaması, yazılım servisleri, muhasebe, kişisel finans ayarlamaları, para transferleri, kitlesel fon, kredi ve debit kartlar ve tahsilat servisleri finteklerin görev aldığı sektörler olarak sayılmaktadır.

Mobil ve dijital ödemeler ve para transferleri bu teknolojinin günümüzdeki en yaygın kullanım alanlarıdır. EY şirketinin yaptığı araştırmaya göre bu kanalları kullanan müşteri oranı 2015 yılında %18 iken 2017 yılında %50'e yükselmiştir. Para transferlerinin ve ödemelerin %83'ünü fintekler üzerinden gerçekleştiren Çin bu konuda dünyada başı çekmektedir. Çin'i %72 ile Hindistan, %60 ile Brezilya , %59 ile Avustralya ve %57 ile Büyük Britanya takip etmektedir. Ayrıca fintekler aracılığıyla yapılan sigorta oranı %8'den %24'e, yatırım ve birikim oranı %8'den %20'ye, finansal planlama oranı %8'den %10'a yükselmiştir. Aslında bu oranlar da finteklerin ileride ekonomide ne kadar önemli bir söz sahibi olacağına en önemli göstergelerinden biridir (EY,2017).



Şekil 3: Türkiye'deki Fintek Ekosistemi



Bankaların çıkardıkları ürünler arttıkça rekabet ortamının artmasına rağmen ürün fazlalığı müşteriler için farklı sorunları getirmektedir. Başta araştırmalara ayrılan süre olmak üzere müşterilerin kendileri için en doğru ürünü seçememesi gibi sorunlar bankalara olan güveni azaltmakta, müşterileri farklı yolları denemeye itmektedir. Bu duruma yeni bir cevap olarak da fintekler müşteriye özel ürünler sunarak bir sorunu daha çözmeye yoluna gitmişlerdir. Bu yolla pazar paylarını arttırmak isteyen fintekler ve bu firmalarla beraber çalışan bankalar müşteri memnuniyetini üst seviyede tutarak müşteri bağlılığını da arttırmayı hedeflemektedirler. Örneğin müşterinin hesabındaki para giriş çıkışlarını yapay zekâ aracılığıyla analiz eden bu şirketlerin uygulamaları kişiye özel kredi, ödeme fırsatları sunarak müşterilerinin finans kanalları olmakla birlikte finans alanında danışmanları olmaktadır. Aynı zamanda bu şirketler müşterilerinin geçmişlerine daha iyi ulaşabildiği için talep edilen ürünlere daha hızlı ve rahat bir şekilde ulaşabilecekler (Fintech İstanbul, 2018).

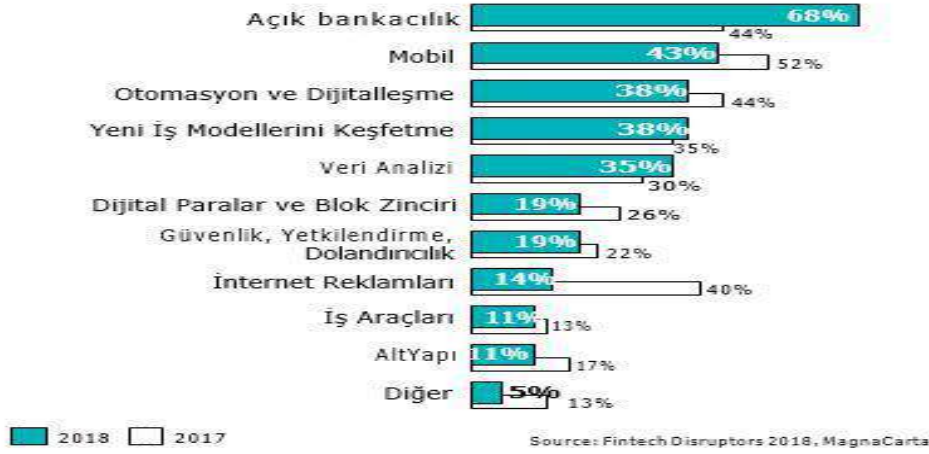
Finansal teknoloji şirketlerinin en önemli özelliklerinden biri ise kredilerin batma riskini en aza indirmesi olacaktır. Finansal krizlerle beraber Türkiye’de 2018 yılının sonu itibarıyla batık kredi tutarı 92,2 milyar Türk Lirasına ulaşmış durumdadır (Sputnik news, 2018). Finansal krizle beraber insanlar kredilere yoğun bir ilgi göstermektedirler. Ancak geleneksel yöntemlerle verilen tüzel ve bireysel kredilerde risk analizi kişi bazlı yapıldığı için verimli sonuç almak çok zor olmaktadır. Finteklerin getirdiği yenilik ise bu risk analizlerini yapay zekâlara yaptırmaktır. Kredi başvurusu yapan kişinin risk durumu, bulunduğu sektördeki yeri, sektörün risk durumu ve buna benzer kredi için en önemli bilgileri analiz eden çeşitli yazılım programları bu bilgiler ışığında kredi başvurusunda bulunan tüzel veya gerçek kişilerin kredi risk skorunu çıkarmaktadır. Bu skora göre kredi kullandırımı yapacak olan fintekler insan hatasını en aza indirerek batık kredi miktarını en aza indirmeyi hedeflemektedirler (BM Magazine, 2017).

Finansal teknoloji şirketleri ve geleceğin dijital bankacılığı her ne kadar şu anda çok hızlı bir büyüme gösterecekler de yaptıkları bazı hatalar yüzünde hala beklenen seviyeye ulaşabilmiş değiller. Bu durumun birçok sebebi vardır. İlk sebep olarak teknolojiyle finans sektörü arasındaki büyük farkı sayabiliriz. Günümüzde teknoloji firmaları çok hızlı büyüyen ve hedeflerine hızlı ulaşan firmalardır. Ancak finans sektörü ise teknoloji firmalarının tam tersine yavaş değişkenlik gösteren geleneklerine bağlı bir sektördür. Dolayısıyla bu iki sektörün birleşmesinde büyük bir çelişki ortaya çıkmaktadır. Bu çelişki de fintek sektörüne yatırım yapacak firmaları geri adım atmaya itmektedir. Bir diğer sorun ise bu sektörün insanları kısa vadeli plana zorlamasıdır. Yatırımcıların finteklerden beklentileri çok büyük olduğu için geri dönüşünün çok hızlı olmasını beklemektedirler. Bu da fintekleri kısa vadeli plan yapmaya zorlamaktadır. Yapılan yatırımlar yeniliğe ve geliştirmeye harcanmak yerine kısa vadede para getirecek alanlara yapılmakta ve sektörün ilerlemesine engel teşkil etmektedir. En önemli problem ise finans sektöründeki büyük ve güçlü şirketlerin değişimi istememesidir. Alanındaki en büyük bankalar ve firmalar her ne kadar fintek sektörünün içine girse de bu sektörün büyümesi onların pazar payları açısından büyük tehlike arz etmektedir. Teknolojinin bu kadar ilerlediği bir ortamda Apple Pay, Google Pay, Ali Pay, WhatsApp Pay, Amazon Pay gibi tekfinlerin finans sektörüne çok güçlü bir şekilde girmesi finans şirketleri korkutmuş durumdadır. Çünkü bugüne kadar daha muhafazakâr bir şekilde ilerleyen bir sektör bu ani değişiklikle çok farklı pazarlara açılmaktadır. Bu değişiklik büyük finans şirketlerini ellerindeki gücü kaybetme ihtimaliyle karşı karşıya bırakmıştır. Bundan dolayı büyük finans kuruluşları fintek fikrinin uygulanmasını geciktirmek için büyük uğraşlar vermektedirler. Ve son olarak fintekler finans sektörünün yasal zorunluluklarına uymakta zorlanmaktadır. Kanunlar tarafında çok kesin bir şekilde korunan haklar, veri mahremiyeti gibi konular yüzünden fintekler yazılımlarını sürekli değiştirmek ve düzenlemek zorunda kalmaktadırlar. Bu durum da gelişimlerine engel teşkil etmektedir. Sonuç olarak fintekler teknolojiyi kullanarak finansal işlemlerini gerçekleştirerek işlemleri kolay ve hızlı bir şekilde gerçekleştirirse de aynı zamanda çok büyük zorluklarla da karşı karşıya kalmış durumdadırlar (Myers, 2017; Vardanian, 2018; Fintechnews Singapore, 2019).

### **3.1 Açık Bankacılık ve Ödeme Hizmetleri Yönergesi (Open Banking and Payment Services Directive)**

Açık bankacılık bankaların elindeki veriyi paylaşması yasal gereklilikler çerçevesinde paylaşmasıdır. Avrupa Birliği’nin onayladığı PSD2’ye (Ödeme Hizmetleri Direktifi 2) göre Avrupa’daki bankalar müşteri onaylı verilerini müşterilerine ve diğer kullanıcılar açmak zorundadır. Kanal bazlı açılan bu veriler Application Programming Interface (API) yani Uygulama Programlama Arayüzü adı verilen uygulamalarla halka açık hale geleceklerdir. Bu uygulamaların asıl amacı uygulamalar birbirlerinin uygulamaları üzerinden kendi uygulamalarında olmayan özellikleri kullanmasıdır. Finans sektöründe bu uygulamalar veri paylaşımı için de kullanılmaktadır. Bu veri paylaşımı sayesinde bankalar, fintekler, tekfinler ve diğer finans kuruluşları beraber hareket ederek müşteriye en uygun ürünü ve hizmeti sunmayı hedeflemiştir (InfrasoftTech, 2018). Dünya üzerinde 24 Aralık 2018 tarihine kadar 428 banka API’lerini kullanıcılarına açmış durumdadır (Programmable Web, 2018). Bu bankalar başlıca; BBVA, HSBC, Barclays, Danske Bank, Deutsche Bank, Capital One ve ASB Bank’tır. Türkiye’de ise Garanti, Yapı Kredi, Kuveyt Türk, İş Bankası ve Denizbank API’lerinin bir kısmını açmışlardır. Bankalar kendi stratejilerine göre farklı ürünlerin API’lerini açmışlardır. Aşağıdaki tabloda görüldüğü gibi her bankanın izlediği yol farklıdır. Bu yol aracılığıyla da müşterilerine en iyi hizmeti vermeyi amaçlamışlardır.

## Fintekler İçin Fırsatlar



Tablo 2: MagnaCarta Fintek Araştırması

API'ler/Bankalar	İş Bankası	Yapı Kredi	Garanti	KuveytTürk	Denizbank
Kredi	6	3	1	6	37
Müşteriler	3	6	-	-	15
Kurlar	1	6	-	-	3
Hesaplar	3	10	-	8	13
Bilgilendirme	4	10	-	10	18
Ödemeler	4	3	-	4	12
Kartlar	-	4	-	12	42
Para Transferleri	2	6	1	14	8
Bağışlar	-	-	-	5	-
Test	-	4	-	-	1
Fonlar	-	1	-	-	9
Faktöring	-	-	-	-	18
Güvenlik	2	-	1	-	7
Sanal POS	-	-	-	4	-
Diğer	6	3	1	10	23

Tablo 3: 20 Eylül 2019 Tarihi itibariyle Türkiye'de Açık olan API Servisleri

### 3.1.1. Açık Bankacılık İş Kolları

Açık bankacılık ve geleneksel bankacılığın aynı anda var olmasıyla, farklı iş kolları ortaya çıkmıştır. Accenture'ın yaptığı araştırmaya göre bankalar iki farklı organizasyon olarak oluşmuş ve bu organizasyonlar içinde dört farklı dijital iş modelleri vardır. Bu modeller açık bankacılık ile geleneksel bankalar arası farklı uygulamalar, yatırımlar ve riskler almaktadır.

#### 3.1.1.1. Fayda Sağlayıcılar

PSD2( Ödeme Sistemleri Yönetmeliği) yasalarının zorunlu kıldığı elindeki verileri asgari seviyede üçüncü partilerle paylaşan kuruluşlardır. Bu yolu uygulayan kuruluşlar PSD2 sayesinde uygulayabilecekleri yeni stratejileri denemektense geleneksel sistemle devam etmeye çalışmaktadırlar. Bunun sonucu olarak kendini bu şekilde tanımlayan bankalar işlem yapma hacimlerini ve önemli kazançlarını karşılığında hiçbir şey kazanmadan kaybetme riskiyle karşı karşıya kalmaktadırlar.

#### 3.1.1.2. Dijital İlişkileri Yönetenler

API (Uygulama Programlama Ara yüzü) kullanımı ve birçok servisin tek bir çatı altında toplanması finans sektörünün eskisine göre çok daha farklı olmasını sağlamaktadır. Bu farklılıklarla birlikte mevcut müşterilerin finans hizmetlerinin kullanım oranını arttırırken, bundan önce standart finans kuruluşlarıyla çalışmayan kişileri finans sektörünün yeni müşterileri yapmaktadır. Özellikle küçük bankalar, üçüncü partilerin verilerine API'leri aracılığıyla ulaşarak müşteri deneyimlerini dijitalleştirme, bağlılıklarını artırma

ve pazardaki paylarını arttırmayı amaçlamaktadırlar. Ayrıca dış kaynaklı verileri ve sahip oldukları verileri birleştirerek bankalar daha kaliteli ve kişiye özel ürün ve kampanyalarını müşterilerine sunabilmektedirler. Bankaların bilgi servisleri de gelir elde etme konusunda doğrudan rol oynayabilir, yeni müşterilere kazandırabilir ve geleneksel banka servislerini yeni ürünlerle geliştirebilmektedirler. Bu yenilikler sayesinde banka hareketlerinin bir parçası olduğu ve müşteri deneyimleri ve ilişkileriyle ilgilenen yeni iş kolları da ortaya çıkmaktadır. Bu modeli kullanan bankaların yapması gereken de üçüncü parti ortaklarıyla beraber müşterileri paylaşmak veya bu yenilikçi uygulamaların önüne geçmek olmamalıdır.

### 3.1.1.3. Açık Platform Oyuncuları

Bankalar diğer kuruluşlardan kullandıkları API hizmetleriyle oluşturdukları servisleri bir sonraki kullanıcıya satabilmektedirler. Bankalar, ortaklarıyla beraber servislerinde yeni paketler sunabilirler veya ürünlerini ve servislerini farklı tip müşterilere yeni özellikler ekleyerek tekrar servis edebilmektedirler.

### 3.1.1.4. Dijital Kategori Katilleri

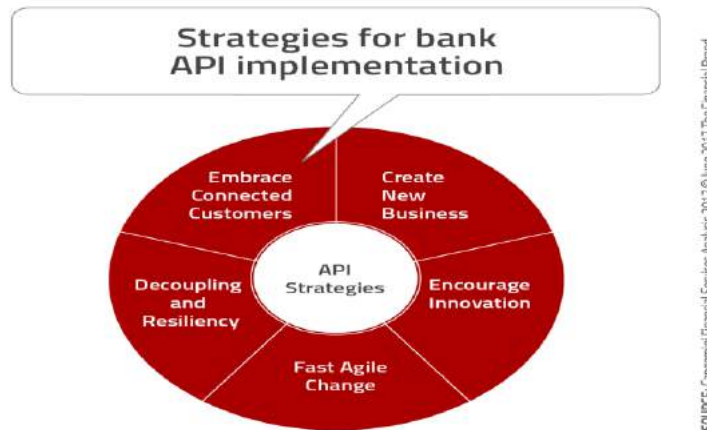
Bankaların iç kaynaklara API'lerini açması mevcut süreçlerini geliştirmekte ve maliyetlerini düşürmektedir. Bu API'ler sadece bankada kullanılan Web API'leridir. Bu API'leri kullanma hakkı iş anlaşmasına göre şirket içi geliştiricilerde ve ortaklardadır. Bu iç kaynaklara açılan API'ler bankaların daha hızlı hareket etmesini sağlarken, çeşitli yeni teknolojilerinin uyum sürecini hızlandırmaktadır. Geleneksel yöntemde iş yapmaya devam eden bankaların bilgi teknolojileri bölümünün yeni iş fikirlerini uygulamaya koymasına 18 ila 24 ay arası sürebilirken; iç kaynaklara açılan API'leri kullanarak yeni iş fikirlerini, örneğin yeni telefon uygulamaları ve kanal uygulamaları, sunmaya çalışan bankalarda bu süre birkaç haftaya kadar düşebilmektedir.



Şekil 4: Açık Bankacılık İş Kolları

### 3.1.2. Açık Bankacılıktan Fayda Sağlayan İş Modelleri

KPMG raporlarına göre şu anda geleneksel banka yöntemleriyle çalışan iş modellerinin bazıları açık bankacılık kısmında da aktif olarak çalışarak kendi faydaları için yeni modeller oluşturmuşlardır.



Tablo 4: Banka API Uygulaması için Stratejiler

### 3.1.2.1. Proje Sağlayıcılar

Xero, Sage, Intuit gibi fintekler, Dijital bankalar ve bulut hesap sağlayıcılar için açık bankacılığın proje aşamasında birçok farklı fırsat bulunmaktadır. Bu şirketlerin ana odak noktası müşterilerinin fatura ve diğer ödemeleri için üst düzey hizmet sağlamaktır. Kobilerin verilerine ulaşarak para ve zaman konusunda verimliliği arttıran hizmetler sunmaktadırlar.

### 3.1.2.2. Ekosistem ve Uygulama Mağazaları Oyuncuları

Bu hizmet sayesinde kobiler ihtiyacı olan bütün hizmetlere tek bir uygulama üzerinden ulaşabilmektedirler. Kobiler uygulamaları indirip sadece kullanacakları hizmetleri tek seferde kontrol edip işlemlerini yapabilmektedirler. Bu modelin kullanılmasının en büyük amacı, finans sektöründeki şirketlerin müşterilerinin isteklerini ve beklentilerini tam anlamıyla karşılamakta zorlanmasıdır. Ve bundan dolayı hız, güven ve verimlilik konusunda zorluk çekmektedir. Bu model sayesinde bu sorunlar çözülmesi beklenmektedir. Starling Marketplace bu ekosistem yaklaşımının en iyi örneklerinden biridir.

### 3.1.2.3. Bayilik Genişletme Yöntemi

Bayilikle çalışan firmalar açık bankacılığı kullanarak bayiliklerine yeni ödeme servislerini sunmaktadırlar. Örneğin, bağımsız bayilikler şu an ödedikleri satıcılara ödedikleri ücretleri azaltmakta büyük zorluk çekmektedirler.

Bir diğer modelde ise mevcut ödeme servislerini genişleterek kobi müşterilerine ve tedarik zincirindeki kuruluşlarına ödeme kolaylığı sağlamaktadır.

### 3.1.2.4. Akış Canavarları

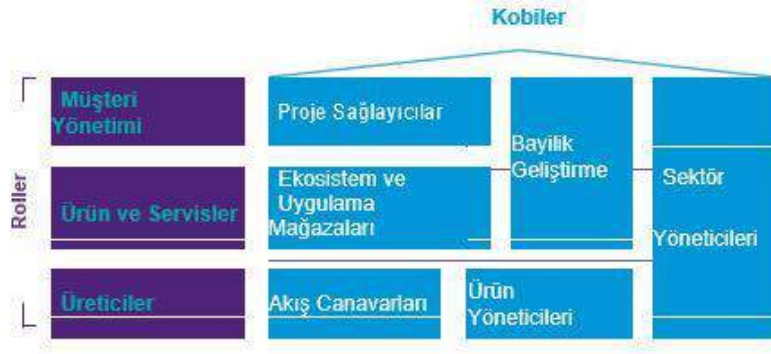
Akış canavarları bilançoları yöneten kuruluşlardır. Açık bankacılık zincirinin büyük bir destekçisi olan bu kuruluşlar bütün sorumluluk ve varlıkları elinde tuttuğundan açık bankacılık oyuncuları için düzenlemeleri yapabilmektedirler. Akış canavarlarının banka işlemlerini yapabilmek için yetkileri vardır. Güçlü bir kredi notuna sahip olan bu şirketler, başarılı bir sermaye ve likidite sahibidirler.

### 3.1.2.5. Ürün Yöneticileri

Bazı finansal servisler ürün yöneticisi olmayı tercih etmişlerdir. Bu kuruluşlar ürünlerini şu anda var olan diğer platformlardan sunmaktadırlar. Örneğin bazı genel sigorta şirketleri risk iştahı konusunda uzmanlaşmış ve bu konuda ürünlerini sigorta şirketlerine sunmaktadırlar.

### 3.1.2.6. Sektör Yöneticileri

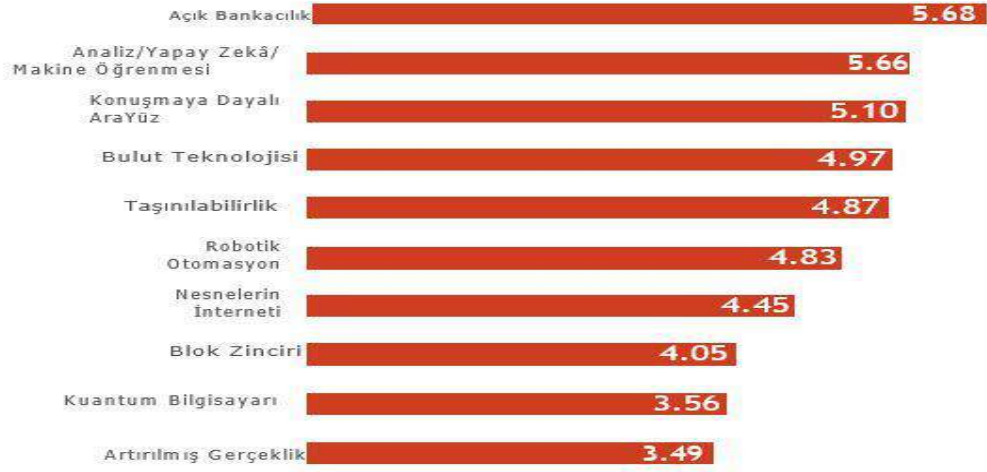
Ürün yöneticileri gibi sektör yöneticileri de bazı spesifik sektörlerde uzmanlaşmışlardır. Örneğin Manufacturers Bankası üretim alanındaki kobilerin aktivitelerinin %15'ine odaklanmış ve bu konuda ürünler sunmaktadır. Banka kobilerin uzun dönemli yatırımlarına destek olur ve başarılı bir şekilde büyümelerini sağlamaktadır.



Şekil 5: Açık Bankacılıktan Yarar Sağlayan İş Modelleri

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte bankalar da uyum sürecine girmiştir. Sadece açık bankacılık değil bir çok farklı yolla bankalar teknolojiyi geleneksel yöntemlere entegre etmişlerdir. Efma-Infosys Finacle'ın yaptığı dijital bankalar raporuna göre bankalar başlıca 11 teknolojik uygulamayı bankalarına uygulamışlardır. Aşağıdaki tabloda da görüldüğü gibi başlıca açık bankacılık (Open API), yapay zekâ (Artificial Intelligence), konuşmaya dayalı ara yüz (Chatbox) gibi uygulamaların geleneksel bankacılığın işlemlerine etkisi artmıştır.

Teknolojinin Önümüzdeki Yıl Bankacılığa Etkisi  
1 ile 7 arası puanlama (1 en küçük 7 en büyük)



Source: Efma-Infosys Finacle Digital Banking Report Survey 2018

Tablo5: Teknolojinin Gelecek Yıl Bankacılığa Etkisi

### 3. Sonuç ve Tartışma

Bankacılık ve finans sektörü ile birlikte bu ekosistemin içinde kalan veya bir şekilde ortak bir kesişim kümesi bulunan tüm alanlar, günden güne birbirine daha fazla yakınlaşarak yeni bir dünyanın kapılarını açmaktadır. Açık Bankacılığın bir strateji veya zorunluluk olmanın ötesine geçerek sektörün geleceğini şekillendireceği söylenebilmektedir. Bankaların son dönemlerde yaptığı fintek yatırımlarının meyvelerini almaya başlaması ve olumlu geri bildirimler alınması da sektörün gelecekte diğer sektörlerden bir adım değil birkaç adım önde olacağını göstermektedir.

Yapılan araştırmalar gösteriyor ki ülke olarak verinin doğru kullanımı, süreçlerin doğru yönetilmesi, fintek işbirliklerine olan ilginin artması ve en önemlisi müşteri ihtiyacının iyi analiz edilmesi noktasında işler yapmaktayız. API bankacılığı konusunda ülkemizde her ne kadar bankaların API Marketleri sınırlı sayıda olsa da artış eğiliminde olduğunu söylemek mümkündür. Bankalar dışarı API yayınlamakta çekince duysalar da artan rekabetçi ortamda bunun gerekliliği hususunda bu motivasyonu yakalayacaklardır. Burada en büyük faydayı tüketicilerin göreceği; daha düşük fiyatlardan, daha fazla ürün seçeneklerine ulaşma imkânı sağlayacağı su götürmez bir gerçektir. PSD2 kapsamında yurt dışı örneklerinde olduğu gibi bankalar ve finans kurumlarına API'lerini yayınlama zorunluluğu getirmek doğru olacaktır. PSD2 kuralları özellikle Avrupa'da bu kümeye yeni giriş yapacak girişimcilere gerekli motivasyonu vermektedir. Buna benzer bir düzenlemenin de rekabet eşliğimizin artması adına ülkemizde de yapılması gerekmektedir.

Ülkemizde özellikle sektörel bazda piyasa baskısını en yoğun hisseden sektörlerin başında gelen bankacılık ve finans sektörü açısından fintek kültürünü benimsemelerinin ve API'lerini dış kullanıma açmalarının onların lehine olacağı şüphesiz bir gerçektir. Bu konuda hem Avrupa'daki hem de ülkemizdeki örnekleri dikkate alarak adım atmaları teşvik edilmelidir. Ülkemizde akademik ve regülatif bakımdan çalışmalar başlatılarak bu alanda ülke olarak daha iyi bir konuma ve saygıya sahip olabiliriz.

### Terminoloji

- API: Application Programing Interface / Uygulama Programlama Arayüzü
- Fintek: Finansal Teknoloji Şirketleri
- PSD2: Ödeme Hizmetleri Direktifi 2
- CHATBOT: Konuşmaya Dayalı Arayüz
- AI: Artificial İntelligence / Yapay Zekâ
- YÖK: Yüksek Öğretim Kurumu
- TÜBİTAK: Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu
- ULAKBİM: Ulusal Akademik Ağ ve Bilgi Merkezi

### Kaynakça

- F DEVRİM, Aİ ÖZPENÇE - 4. KOBİ'ler ve Verimlilik Kongresi - openaccess.iku.edu.tr
- [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/55851881/07-MUSTAFA\\_YAGCI.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DYukselen\\_Finansal\\_Teknolojilerin\\_Ekonomi.pdf&X-Amz-Algorithm](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/55851881/07-MUSTAFA_YAGCI.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DYukselen_Finansal_Teknolojilerin_Ekonomi.pdf&X-Amz-Algorithm)
- [http://www.eticaretraporu.org/wp-content/uploads/2017/04/TUSIAD\\_E-Ticaret\\_Raporu\\_2017.pdf](http://www.eticaretraporu.org/wp-content/uploads/2017/04/TUSIAD_E-Ticaret_Raporu_2017.pdf)
- <https://developer.kuveytturk.com.tr/>
- <https://apiportal.yapikredi.com.tr/>



<https://api.intertech.com.tr>  
<https://developers.garanti.com.tr/>  
<https://developer.isbank.com.tr>  
<https://fintechistanbul.org/02/02/2019/wp-content/uploads/2019/03/Fintek-Makale1.pdf>  
<https://fintechistanbul.org/2019/08/05/acik-bankacilik-finans-sektorunu-yeniden-sekillendiriyor/>  
<https://fintechistanbul.org/09/09/2019/turkiye-banka-fintech-is-birlikleri-haritasi-beta-1-0/>  
<https://thefinancialbrand.com/65975/01/09/2019/open-banking-api-fintech-partnerships/>  
<https://www2.deloitte.com/01/06/2019/content/dam/Deloitte/global/Documents/About-Deloitte/central-europe/ce-digital-banking-maturity-study-emea.pdf?nc=1>  
ProgrammableWeb. (2019). Banking APIs. [online] Available at: <https://www.programmableweb.com/category/banking/api>  
Anon, (2019). [online] Available at: <http://www.infrasofttech.com/blog/open-banking-apis-changing-landscape-banking>  
Forbes.com. (2017). 3 Reasons Fintech Is Failing. [online] Available at: <https://www.forbes.com/sites/chrismyers/2017/02/07/3-reasons-why-fintech-is-failing/>  
Medium. (2018). Why fintech startups fail. 5 mistakes and conclusions. [online] Available at: <https://medium.com/swlh/why-fintech-startups-fail-5-mistakes-and-conclusions-b77e1bde23d2>  
Singapore, F. (2018). 8 Reasons Why Fintech Startups Fail. [online] Fintech Singapore. Available at: <http://fintechnews.sg/20296/fintech/reasons-why-fintech-startups-fail/>  
Bmmagazine.com, V. (2017). The importance of FinTech in finance. [online] Business Matters. Available at: <https://www.bmmagazine.co.uk/finance/importance-fintech-finance/>  
<https://www.sputniknews.com.> (2018). Batık kredi oranı 8 yılın zirvesinde. [online] Available at: <https://tr.sputniknews.com/ekonomi/201812271036825464-batik-kredi-orani-sekiz-yilin-zirvesinde/>  
Ey.com. (2017). [online] Available at: \*[https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-fintech-adoption-index-2017/\\$FILE/ey-fintech-adoption-index-2017.pdf](https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-fintech-adoption-index-2017/$FILE/ey-fintech-adoption-index-2017.pdf)  
Beck, H. NETNOMICS: Economic Research and Electronic Networking (2001) 3: 7.  
Usta, A. (2018). Açık Bankacılık hakkında sorular ve cevapları. [online] FinTech İstanbul. \*Available at: <https://fintechistanbul.org/2018/01/23/acik-bankacilik-hakkinda-sorular-ve-cevaplari/>  
2018, I. (2018). Innovation in Retail Banking 2018 - Digital Banking Report. [online] \*Digital Banking Report.  
Fintech.istanbul. (2018). [online] Available at: <http://fintech.istanbul/en/wp-content/uploads/2016/06/Fintech-Ecosystem-Map-v4.1.pdf>  
MagnaCarta Communications. (2018). 2018 Fintech Disruptors Report, exclusively from \*MagnaCarta. [online] Available at: <https://www.magnacartacomms.com/2018-fintech-disruptors-report>  
KPMG (2018). 2018 Is Open Banking Open for Business, exclusively KPMG [online] Available at: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/uk/pdf/2018/11/is-open-banking-open-for-business.pdf>  
GÖKTEPE, Serkan." Türkiye'deki Fintech girişimleri –Fintech girişimleri bankaların geleneksel kredi onay ve kredi verme süreçlerini nasıl değiştirecek?". Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, 2018  
BİLGİÇ, Elif." Dijital finansal ürün ve hizmetlerin büyümesi: Türkiye'de Fintech hizmet ve çözümlerinin genişlemesi üzerine bir araştırma." Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, 2019  
TAŞTAN, Selim." Küresel Finansal Teknoloji Sektöründe Ortaya Çıkan Yeni Girişimlerin Ekonomik ve Teknolojik Belirleyicileri".Haliç Üniversitesi Sosyal Bilimleri Dergisi 2/1 (Ocak 2019):41-69  
MENTEŞ, Ahmet." Finansal Tabana Yayılma Aracı Olarak Finansal Teknoloji Şirketleri". Sosyal Bilimler Araştırma Dergisi 8/1 (Ocak 2019: 168-175



## 3 Boyutlu Yazıcı ile Üretilen Parça Yüzeylerini Toz Kaplama ve Kaplama Eroziv Aşınma Davranışlarının Karakterizasyonu

Ahmet Sevil<sup>1</sup>, Ahmet Ondört<sup>2</sup>, Satılmış Ürgün<sup>3</sup>, Sinan Fidan<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Kocaeli Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Elektrik-Elektronik Bakım Bölümü, Kocaeli, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8739-4297)

<sup>2</sup> Kocaeli Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Elektrik-Elektronik Bakım Bölümü, Kocaeli, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5641-4654)

<sup>3</sup> Kocaeli Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Elektrik-Elektronik Bakım Bölümü, Kocaeli, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3889-6909)

<sup>4</sup> Kocaeli Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Gövde-Motor Bakım Bölümü, Kocaeli, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4385-4981)

(İlk Geliş Tarihi 29 Kasım 2019 ve Kabul Tarihi 31 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.652512)

**ATIF/REFERENCE:** Sevil, A., Ondört, A., Ürgün, S. & Fidan, S. (2019). 3 Boyutlu Yazıcı ile Üretilen Parça Yüzeylerini Toz Kaplama ve Kaplama Eroziv Aşınma Davranışlarının Karakterizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), Xx-Xx.

### Öz

Günümüzde 3 boyutlu (3D) yazıcılarla parça üretimi giderek artan oranda kullanılan bir yöntem haline gelmektedir. 3D yazıcılarla üretilen parçalarda hammadde olarak polilaktik asit (PLA) filamanlar kullanılmaktadır. PLA malzemeden üretilmiş parçaların servis şartları altında yüzey çizilmelerine dayanımı düşük olabilmektedir. 3D yazıcılarla üretilmiş parçaların yüzey çizilmelerine dayanımını artırmak amacıyla bu çalışmada üretilen silindirik parçanın yüzeyi üç farklı toz ve epoksi reçine kullanılarak kaplanmıştır. Aşınma dayanımını iyileştirmek amacıyla beyaz alümina, garnet ve seramik bilya tozları yüzey kaplamasında tercih edilmiştir. Kaplama işlemi için özel tasarlanıp imal edilen motorize bir düzenekle belirli devir sayısında döndürülen 3D imal edilmiş silindirik numune epoksi ve arkasından toz uygulamasıyla kaplanmıştır. Kaplama işlemi sonrası yüzey pürüzlülük analizleri gerçekleştirilmiştir. Pürüzlülük analizlerinde alansal taramalar yapılarak ortalama alansal pürüzlülük değerleri ( $S_a$ ) irdelenmiştir. Alansal pürüzlülük değerleri tozların kaplama esnasında yüzeye yapışma karakteristiği ve yüzeyde tozların dağılımı hakkında da önemli bilgiler vermiştir. Yüzeyi kaplama sonrası yüzeyi partikül takviyeli kompozit haline gelen numuneler eroziv aşınma testlerine maruz bırakılmıştır. Eroziv aşınma testleri sonrası kütle kayıpları ve yüzey pürüzlülük analizleri gerçekleştirilerek aşınma dayanımı karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Eroziv aşınma sonrası yapılan yüzey analizlerinde kaplama tozlar ve aşındırıcı tozlar arası etkileşimin yüzey aşınma hasarına etkileri ortaya konmuştur. Uçak parçalarında sıkça ortaya çıkan yüksek hızlardaki eroziv aşınmanın, 3D yazıcılarla üretilmiş uçak parçalarında yüzeyde ne tür hasarlara sebep olabileceği konusunda yapılan çalışmayla bilgi birikimi sağlanmaya çalışılmıştır. Ayrıca 3D üretilen karmaşık geometriye sahip parçaların yüzeylerini farklı bir metotla kaplama konusuna ihtiyaç bulunmaktadır. Sonuç olarak 3D imalatla üretilen komponentlerin yüzey kaplamasıyla ilgili alternatif bir yöntem denenmiş ve eroziv aşınma dayanımına etkileri yüzey analizleri ile ortaya konulmaya çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** 3 Boyutlu imalat, Kaplama, Aşınma, Pürüzlülük.

## Powder Coating of 3D Printed Parts Surfaces and Erosive Wear Behaviour Characterization of Coatings

### Abstract

Nowadays, the production of parts with 3D printers is becoming an increasingly used method. Polylactic acid (PLA) filaments are used as raw material in parts produced with 3D printers. Parts produced from PLA may have low scratch resistance under service conditions. In order to increase the resistance of parts produced by 3D printers to surface scratches, the surface of the cylindrical part produced in this study was coated with three different powder and epoxy resin. In order to improve the abrasion resistance, white alumina, garnet

<sup>1</sup> Sorumlu Yazar: Kocaeli Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Gövde-Motor Bakım Bölümü, Kocaeli, Türkiye, ORCID: 0000-0003-4385-4981, [sfidan@kocaeli.edu.tr](mailto:sfidan@kocaeli.edu.tr)

and ceramic ball powders are preferred for surface coating. A specially designed and manufactured motorized assembly for the coating process is rotated at a certain speed and the 3D manufactured cylindrical sample is coated with epoxy followed by powder application. Surface roughness analysis was performed after coating process. In the roughness analysis, the mean spatial roughness values (Sa) were examined. The spatial roughness values gave important information about the adhesion characteristics of the powders to the surface during coating and the distribution of the powders on the surface. After the surface coating, the specimens which became particle reinforced composite were subjected to erosive wear tests. After erosive wear tests, mass losses and surface roughness analyzes were performed and abrasion resistance characterization was performed. After erosive surface analysis, the effects of the interaction between coating powders and abrasive powders on surface wear damage were revealed. The aim of this study is to provide information about the possible damages on the surface of aircraft parts produced with 3D printers. In addition, there is a need for a different method of coating the surfaces of complex geometric parts produced in 3D. As a result, an alternative method of surface coating of components produced by 3D manufacturing has been tried and its effects on erosive abrasion resistance have been tried to be determined by surface analysis.

**Keywords:** 3D manufacturing, Coating, Wear, Roughness.

## 1. Giriş

Katmanlı üretim (additive manufacturing: AM) veya 3D baskı ile üretim, geleneksel üretime kıyasla birçok avantaj sunduğu için karmaşık bileşenler üretmek için mevcut teknoloji olarak hızla gelişmektedir (Bhaduri et al., 2017). Katmanlı üretim, daha fazla tasarım özgürlüğünün yanı sıra karmaşık iç ve dış yapılar için karmaşık parçaları verimli bir şekilde üretme yeteneğini de içerir (Bhaduri et al., 2017). Karmaşık parça üretiminin önemli olduğu havacılık, otomotiv ve biyomedikal gibi endüstrilerde 3D baskı ile karmaşık geometrilerin üretiminde büyük oranda esneklik sağlanmaktadır. Üretim esnekliğinin büyük avantaja dönüştüğü 3D baskı yönteminin problemlerinden birisi seri üretimde üretim zamanının optimize edilmeye ihtiyaç duyması ve basılan parçaların yüzeylerinin dış etkilere dayanımının düşük olmasıdır. Üretilen parçalar servis şartları altında mekanik sürtünme, ultraviyole ışık, sıcaklık, nem, toz vb. etkilere maruz kaldıklarında parçanın güvenli çalışma ömrü büyük oranda düşmektedir. 3D basım ile üretilen parçaların servis ömürlerini uzatmak amacıyla, üretim sonrası yüzeylerine uygulanan koruyucu işlemlerin ve kaplamaların çeşitliliğini artırmak amacıyla son yıllarda çok sayıda çalışma yapılmaya başlanmıştır.

Bhaduri ve arkadaşları, 3D ile üretilmiş paslanmaz çelik malzemeden oluşan bir parçanın yüzeyini laserle cilalama işlemi gerçekleştirerek yüzey bütünlüğünü artırmayı hedeflemişlerdir (Bhaduri et al., 2017). Laserle cilalama işlemi sırasındaki işlem parametrelerini iyileştirerek en iyi yüzey kalitesi ve düşük yüzey pürüzlülüğünü elde etmeye çalışmışlardır. Laserle cilalama işlemindeki parametrelerini optimize ederek, yüzeyde herhangi bir çizik, çukur, çatlak vb. oluşumlara neden olmadan numunenin alansal pürüzlülük değerinde %94'lük bir azalmayı sağlamayı başarmışlardır (Bhaduri et al., 2017). Laserle cilalama işleminin etkinliğini etkileyen bir başka önemli faktörün de, 3D baskı ile üretim sonrası malzeme yüzeyinin ilk pürüzlülük değeri olduğu belirtilmiştir. Laserle cilalama işlemi sonrası yüzeyde oluşan renk yoğunluğunun da işlem esnasında oluşan oksit tabakasının miktarına/derinliğine bağlı olduğu; dolayısıyla 3D baskı ile üretilmiş metal yüzeylerde laserle cilalama işleminin argon gazı altında yapılmasıyla yüzey oksidasyon tabakasının oluşmasının engellenebileceği belirtilmiştir (Bhaduri et al., 2017). Laserle cilalama işlemini takiben sertlikteki artış, yüzeyin aşınma direncini artırabilirken; yeniden erime nedeniyle alt yüzeyin yoğunlaşması, 3D baskı ile üretilen parçalarda doğal olan gözenekleri ortadan kaldırabilir. Bu yüzden, 3D baskı ile üretilen parçalarda gözeneksiz dış kabuk önemli ise; lazerle cilalama teknolojisinin çok önemli olduğu belirtilmiştir (Bhaduri et al., 2017).

Lanzetta ve Sachs yaptıkları çalışmayla 3D baskıyla elde edilen yüzeylerde çift modlu (bimodal) tozların kullanımının son kat yüzey pürüzlülüğünü iyileştirdiğini ortaya koymuşlardır (Lanzetta & Sachs, 2003). 3B basılan parçalarda yüzey kalitesinin, daha ince tabakaların kullanılmasına izin verdiği ve ayrıca her tabaka içinde daha iyi bir yüzey kalitesi sağladığı için; çok ince tozlar kullanılarak büyük ölçüde iyileştirilebilir olduğunu söylemişlerdir (Lanzetta & Sachs, 2003). Çalışmalarında, 3D baskı ile ürettikleri parçalarda iyileştirilmiş yüzey kalitesi elde etmek amacıyla ince boyutlu alumina tozları (20µm civarı) kullanmışlardır (Lanzetta & Sachs, 2003). Sonuç olarak; 3D baskı işleminin altında yatan merkezi fiziksel etkileşimin, toz ve bağlayıcı madde etkileşimi olduğunu ayrıca bu etkileşimin 3D yazıcı ile üretilen parçalarda iyi yüzey kalitesi elde etmede önemli bir rolü olduğunu söylemişlerdir (Lanzetta & Sachs, 2003). Çift modlu (bimodal) tozların 3D baskı yönteminde kullanılması sonucu özellikle yüzeyde oluşturdukları son tabakanın yüzey pürüzlülüğünü azalttığı sonucunu ortaya koymuşlar, bununla birlikte yüzeyde 3D baskı sırasındaki çift modlu tozdan ince partiküllerin yüzeyde dağılımının homojen olmasına rağmen baskı sonrası yüzeyde ince tanelerin yüzeyde toplanarak pürüzlülüğü azalttığını söylemişlerdir (Lanzetta & Sachs, 2003).

Kumar ve arkadaşları araştırmalarında, ticari olarak temin edilebilen 3D basılmış çeliklerin ve kompozitlerin, tribolojik performanslarının geleneksel Hardox 400 aşınmaya dayanıklı çelik ve AISI 316 paslanmaz çelik ile karşılaştırmasını gerçekleştirmişlerdir (Kumar, Antonov, Beste, & Goljandin, 2020). Sonuçlarında, 3D yazıcıyla üretilen çeliklerin ve kompozitlerin referans malzemelerinkinden daha iyi aşınma direnci gösterdiğini söylemişlerdir (Kumar et al., 2020).

3D yazıcı ile üretilen parçaların toz malzemelerle kaplanması ile ilgili ve bu malzemelerin eroziv aşınma davranışlarıyla ilgili çalışma sayılarının az olması sebebiyle gerçekleştirilen çalışmada bu alana yönelmiştir. Bununla birlikte, eroziv aşınma daha çok malzeme yüzeyinde hasar mekanizmaları ortaya çıkardığı için, pürüzlülük analizleri derinlemesine gerçekleştirilmeye çalışılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Üç Boyutlu Yazıcı ile Kaplama Yapılacak Parça İmalatı

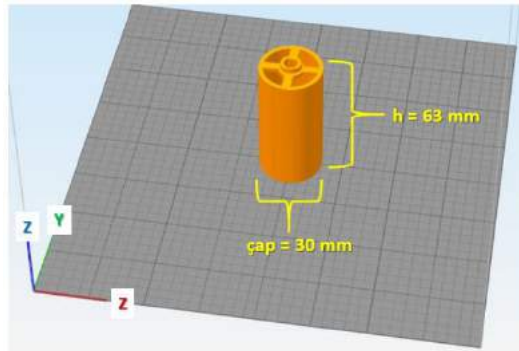
Kaplama yapmak üzere üç boyutlu yazıcı ile parça üretiminde polilaktikasit (PLA) filament malzemesi kullanılmıştır. PLA, 3 boyutlu yazıcılarda en yaygın olarak kullanılan, üretim esnasında zehirli atıklar ortaya çıkarmayan, işlem basamakları kolay optimize edilebilir ve ucuz bir malzeme olduğu için yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu çalışmada kullanılan Esun marka PLA filamentin üreticinin deklare ettiği özellikleri Tablo 2.1’de verilmiştir.

**Tablo 2.1:** PLA filamentin teknik özellikleri

PLA Özellik	Birim	Değer
Yoğunluk	kg/m <sup>3</sup>	1.20 – 1.25
Erime noktası	°C	190 – 220
Eriyik akış indeksi	gr /10 dakika	7.8
Gerilme dayanım gücü	Mpa	62.63
Kopma anında uzama	%	4.43
Eğilme mukavemeti	Mpa	65.02
Eğilme modülü	Mpa	2504.4
Darbe Dayanımı	kJ / m <sup>2</sup>	4.28
Hassasiyet	1.75 mm:	1.7 – 1.8 mm

Kaplama yapılacak test parçaları Zortrax M200 Plus® 3D printer ile üretilmiştir. Parçanın 3 boyutlu baskı için üretilmesinde CAD dosyası ile Z-Suite v2.2.0.0 yazıcı programı kullanılmış, parça üretimi esnasında tasarlanan stereolithography (STL) dosyası yazıcıya aktararak kullanılmıştır. Silindirik geometrideki kaplama yapılacak parçanın çapı 30 mm yüksekliği ise 63 mm olacak şekilde basılmıştır. Üç boyutlu baskı esnasında 0.19 mm tabaka kalınlığı seçilmiştir. Bu baskı kalınlığının seçilmesi ile birlikte maksimum dolgu ve yüksek kalitede yüzey oluşturma seçenekleri işaretlenerek yüksek kalitede parça üretimi hedeflenmiştir. Basma hızı 2100 mm/dak., X/y ekseninde baskı hızı 3300 mm/dak., Z ekseninde baskı hareket hızı 600 mm/dak.’dır. Üç boyutlu baskı esnasında iç dolgu %6, dış yüzeylerin üst üste binme oranı %15, iç dolgu açıları ±45 derece ve tabakalar arası bağlantı her tabakada bir defadır. Üretilen test parçası teknik çizim STL dosyası Grafik 2.1.1’de verilmiştir.

**Grafik 2.1.1:** Kaplama yapılacak 3 boyutlu basılmış test numunesi stl dosyası görüntüsü

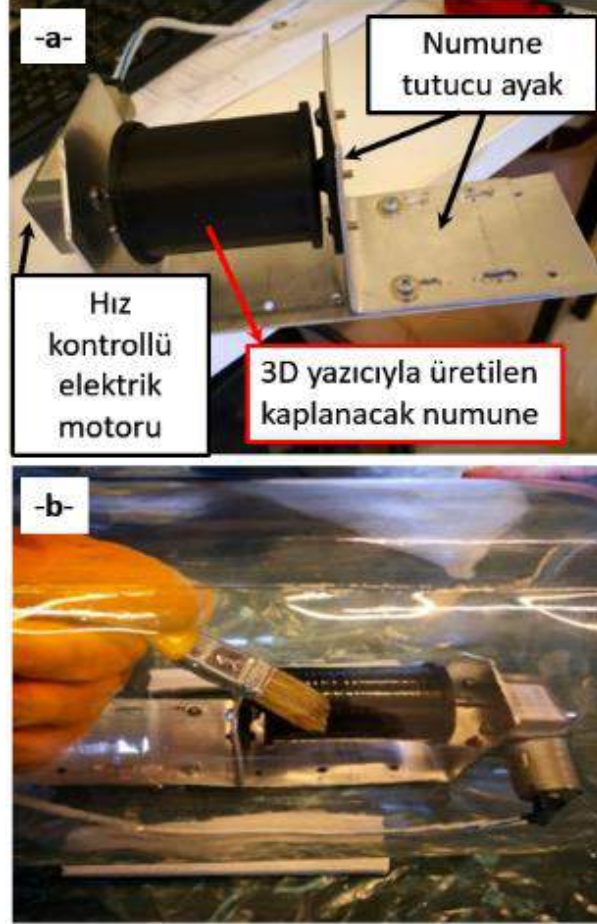


### 2.2. Üç Boyutlu Yazıcı ile Üretilen Parçanın Kaplanması

Üç boyutlu yazıcı ile üretilen silindirik numunelerin üç farklı toz (beyaz alümina, garnet ve cam küre) ile yüzeylerinin kaplanması işlemi için özel olarak motorize bir kaplama düzeneği üretilmiştir. Devir kontrollü bir elektrik motoru ile 3 boyutlu yazıcıyla üretilen silindirik numuneyi bağlayacak ve istenen hızda dönmesi sağlayacak bir bağlantı ayağı tasarlanmıştır. Tasarlanan bağlantı ayağına merkez ekseninde kendi etrafında dönebilecek şekilde yerleştirilen numunenin bir ucundan devir ayarlı motor bağlantısı gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan motorize düzeneğe, kaplama yapılacak silindirik parçayla birlikte kaplama işlemi sırasında çevre

şartlarından etkilenmemesi için cam bir fanus içine alınmıştır. Kaplamada kullanılan tozların yüzeye iyi yapışmasını sağlamak için motor devir ayarı optimizasyonu yapılmıştır. Optimizasyon sonrası kullanılan kaplama tozlarında motor devrinin 5 dev/dak. hız ile yüzeyde homojen bir dağılım ve yapışma gözlemlendiği için 5 dev/dak. kaplama esnasındaki döndürme hızı olarak seçilmiştir. Üretilen motorize kaplama düzeneği resmi Grafik 2.2.1 (a)'de verilmiştir. Motorize düzeneğe cam bir fanus içine alınarak 5 dev/dak. hızla döndürülmüştür. 3 boyutlu basılan test numunesinin yüzeyi, hazırlanan epoksi reçine ve sertleştirici karışımı (%90 epoksi reçine; %10 sertleştirici) bir fırça yardımıyla kaplama yapılacak yüzeye sürülmüştür. Epoksi reçine ile yüzeyin ıslatılması işlemi Grafik 2.2.1 (b)'de görülmektedir.

**Grafik 2.2.1:** (a)Motorize yüzey kaplama uygulama düzeneği (b)epoksi reçine ile yüzeyin ıslatılması



Üç boyutlu yazıcı ile üretilen numune yüzeyini kaplamak için 3 farklı yapıda toz kullanılmıştır. Bu tozlar beyaz alüminyum oksit, garnet ve seramik küredir. Yüzey kaplama malzemesi olarak bu tozların seçilmesindeki amaç; erozif aşınma direnci düşük olan 3 boyutlu yazıcıyla basılmış PLA malzemenin yüzey aşınma direncinin nasıl değiştiğini incelemektir. Gerçekleştirilen toz kaplama yöntemiyle altlık malzemesi haline gelen PLA numunenin erozif aşınmadan korunup korunmadığı araştırılmıştır. Toz ile kaplama yapılmış numunelerin erozif aşınma ve sonrasında yüzey pürüzlülüğüne etkilerini karşılaştırmak amacıyla; aynı aşınma testleri yüzeyi kaplanmamış PLA malzemedan üretilmiş numunelere de uygulanmıştır. Bununla birlikte 3 boyutlu yazıcılarda ikinci sırada en sık kullanılan malzeme olan Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) malzeme ile üretilen kaplama yapılmamış numunenin de erozif aşınma testleri karşılaştırma yapmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. ABS malzemenin yüzeyinde burada kullanılan kaplama tozlarının uygulanması gelecek çalışması olarak tasarlanmıştır. Yüzey kaplama malzemesi olarak kullanılan tozların özellikleri Tablo 2.2.1'de verilmiştir.



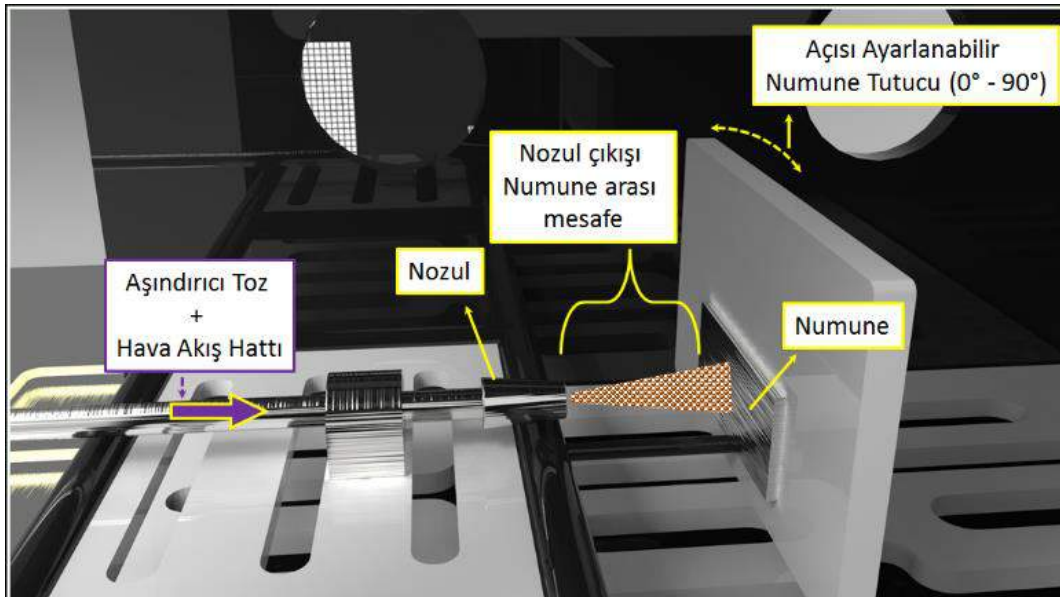
**Tablo 2.2.1:** Kaplama malzemesi olarak kullanılan beyaz alüminyum oksit, garnet ve seramik küre özellikleri

Özellik	Beyaz Alüminyum Oksit	Garnet	Seramik Küre
Tanecik Dağılım Boyutu	150-212 $\mu\text{m}$	90-150 $\mu\text{m}$	125-250 $\mu\text{m}$
Özgül Ağırlığı	3,96 gr/cm <sup>3</sup>	4,1 gr/cm <sup>3</sup>	3.80 gr/cm <sup>3</sup>
Sertliği	9 Mohs scale	8 Mohs scale	65 HRC
İçeriği	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : %94.5 – 95.5 SiO <sub>2</sub> : %0.50 – 0,80 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : %0,30 TiO <sub>2</sub> : %2,60 – 3,20 CaO+MgO: %0,30	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 21% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 31% SiO <sub>2</sub> : 35% MgO: 8% CaO: 1,5% TiO <sub>2</sub> : 1% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : 0,05% MnO: 0,5% ZrO <sub>2</sub> : Eser Miktarda	ZrO <sub>2</sub> : %67 SiO <sub>2</sub> : %31 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : %2

### 2.3. Erosiv Aşınma Testleri

Katı partikül erozyonu testleri ASTM G76-95 standardına göre, Grafik 2.3.1’de şematik resmi görülen özel olarak tasarlanmış test kabini içinde gerçekleştirilmiştir. Eroziv aşınma testlerinde, aşındırıcı partikül olarak 60 mesh tane boyutu dağılımında (212-300  $\mu\text{m}$ ) beyaz alümina oksit kullanılmıştır. Numune tutucuya sabitlenen test kuponları nozul püskürtme yönüne 90 derece açıyla duracak şekilde yerleştirilmiştir. 1.5 bar püskürtme basıncında, 50 mm uzunluğa ve 5 mm çıkış delik çapına sahip nozuldaki aşındırıcı partiküller 10 saniye boyunca test numune yüzeylerine gönderilmiştir. 1.5 bar basınçta püskürtülen aşındırıcı taneciklerin hızları çift disk metoduyla 56 m/s olarak ölçülmüştür. Aşındırıcı partiküllerin debisi 5,7 gr/s olarak hesaplanmıştır. Nozul çıkışı ile numune yüzeyleri arası mesafe 20 mm olarak ayarlanmıştır. Her numune test öncesi ve sonrası basınçlı hava ile temizlenerek testler sonrası hassasiyeti  $\pm 0.1$  mg olan hassas terazi ile kütle kayıpları ölçülmüştür. Katı partikül erozyonu test parametreleri Tablo 2.3.1’de listelenmiştir.

**Grafik 2.3.1:** Katı partikül erozyonu test düzeneği



**Tablo 2.3.1:** Katı partikül erozyon testi parametreleri

Parametre	Tanım / Değer
Aşındırıcı tipi	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Aşındırıcı tanecik boyut dağılımı	60 mesh (212-300 µm)
Aşındırıcı çarpma açısı	90°
Püskürtme Basıncı	1.5 bar
Nozul çapı	5 mm
Aşındırıcı kütleli debisi	5,7 g/s
Aşındırıcı hızı	56 m/s
Test sıcaklığı	25°C ± 2°C
Test süresi	10 saniye
Nozul çıkışı-numune arası mesafe	20 mm

## 2.4. Yüzey Pürüzlülük ve Hasar Analizi

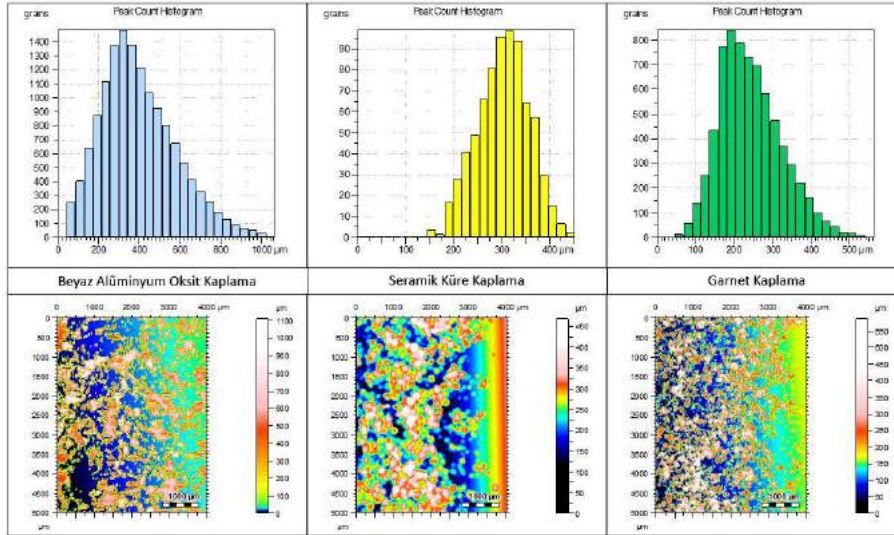
Erozif aşınma testleri önce ve sonrası, 3 boyutlu yazıcıyla üretilen kaplamasız ve kaplama yapılmış yüzeylerin karakterizasyonu temassız laser optik profilometre (Nanovea PS50, USA) yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Toz kaplama işlemi öncesi yapılan profilometre taramaları ile 3 boyutlu basım ile üretilen parçaların yüzey pürüzlülük analizleri gerçekleştirilmiştir. Toz kaplama işlemi sonrası yapılan profilometre taramaları ile tozların yüzeyde tutunma miktarları ve toz partiküllerin yüzeyde dağılımları görüntülenerek dağılım histogramları elde edilmiştir. Katı partikül erozyon testleri sonrası ise ortaya çıkan erozyon krateri geometrisi, yüzeyde oluşan hasarın topografik 3 boyutlu görüntüsü ve hem alansal hem de çizgisel pürüzlülük değerleri elde edilerek irdelenmiştir. Alansal pürüzlülük ölçümlerinde temassız laser profilometre cihazı ISO 25178-2:2012 standardına göre analiz gerçekleştirmektedir. 3 boyutlu temassız laser profilometre taramaları ile ayrıca erozyon kraterinde ortaya çıkan hacimsel kayıp ve erozyon krateri alanı hesaplanmıştır. Pürüzlülük analizlerinde özel bir yazılım olan Mountains® (surface imaging & metrology software,FR) kullanılmıştır. Alansal pürüzlülük taramaları kullanılarak ayrıca çizgisel pürüzlülük analizleri de ISO 4287:1997 standardına göre gerçekleştirilmiştir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Katı Partikül Erozyonu

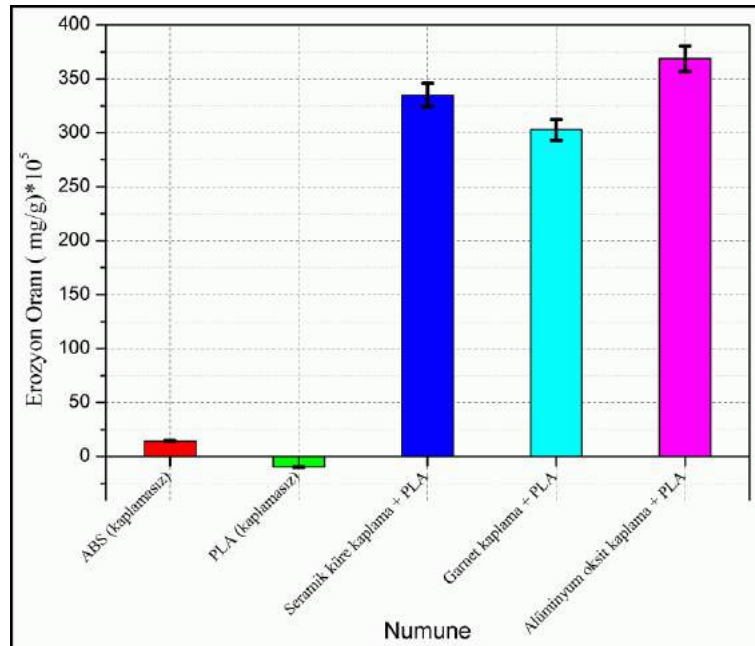
Tipik aşınma türlerinden biri olan katı partikül erozyonu, aşındırıcı partiküllerin hedef malzeme yüzeyine tekrarlı şekilde çarparak malzemeden ciddi miktarda kayıplara sebep olan bir süreçtir (Zhou et al., 2013). Katı partikül erozyonu sonucu yüzeyde oluşan hasarların etkilendiği birincil faktörlerden bir tanesi, hedef malzeme yüzeyi ile aşındırıcı partiküller arasındaki etkileşimdir. Katı partikül erozyonu dayanımını artırmak amacıyla; malzemelerin yüzeyleri ısıtma işlemi, yüzey sertleştirme, boya ve özel kaplama uygulamaları gibi yöntemlerle yüzey en iyileştirmeleri yapılmaya çalışılmaktadır. Yapılan bu çalışmada ise, altlık malzeme olarak kullanılan 3 boyutlu yazıcı ile üretilmiş PLA malzemenin yüzeyi farklı özellikte tozlarla kaplanarak yüzey erozif aşınma dayanımı artırılmaya çalışılmıştır. PLA numunelerin yüzeyleri beyaz alüminyum oksit, seramik küre ve garnet tozlarıyla kaplanarak erozif aşınma testleri gerçekleştirilmiştir. Kaplamaların etkisini incelemek amacıyla da kaplamasız olarak üretilen PLA ve ABS numunelerin erozif aşınma testleri de gerçekleştirilmiştir. 3 farklı toz ile yapılan kaplama işlemi sonrası tozların yüzeyde dağılım haritasını çıkarmak ve yüzeye yapışma karakteristiklerini ortaya koymak amacıyla temassız lazer profilometre ile yüzey taramaları yapılmıştır. Yapılan yüzey tarama sonuçları Grafik 3.1.1'de verilmiştir. Yapılan analizlerde beyaz alüminyum oksit toz kaplamada yüzeye yapışan partiküllerin boyut dağılımının 50 ile 1000 µm arasında değiştiği gözlemlenirken; en fazla sayıda (yaklaşık 1500 adet) toz partikülünün 320 µm tanecik boyutuna sahip olduğu gözlemlenmiştir. Seramik küre ile yapılan kaplamada partiküllerin 150-400 µm arası tanecik büyüklüğü dağılımı gösterdikleri gözlemlenmiştir. Ortalama 300 µm tanecik boyutundaki seramik küre taneciklerinin sayısının 100 adet civarı gerçekleştiği görülmüştür. Yapılan yüzey kaplama toz analizi irdemelerinde bahsi geçen tanecik büyüklüklerinin birebir kullanılan kaplama toz taneciklerinin boyutlarını değil, kaplama işlemi sonrası bu taneciklerin yüzeye yapışarak oluşturdukları kaplama tabakasındaki dağılımları ve öbeklenmelerin genel ortalamasını verdiğini belirtmek gerekir. Son olarak garnet tozlarıyla yapılan kaplama işlemi, 50-500 µm arası tanecik boyut dağılımı gösterirken, ortalama 850 adet 200 µm boyuta sahip taneciğin maksimum sayıya sahip olduğu gözlemlenmiştir. Grafik 3.1.1'de histogramların altında yer alan tozların dağılım haritaları kontur dağılımlarını vermektedir. Yüzey dağılım haritalarında beyaz alüminyum oksit tozların yüzeyde büyük bölgesel alanlarda toplanma gerçekleştirdiği gözlemlenmiştir. Profilometre ile gerçekleştirilen taramada 20 mm<sup>2</sup> (5000 × 4000 µm) alan taranmıştır. Profilometre taramalarının analizleri sonucu Grafik 3.1.1'de görülen yüzey dağılım haritasında 20 mm<sup>2</sup> taranan alanın içinde beyaz alüminyum oksit tozların toplam 5.96 mm<sup>2</sup> ( % 29.8 ); seramik kürelerin 6.38 mm<sup>2</sup> ( % 31.9 ) ve garnet tozların 6.18 mm<sup>2</sup> ( % 30.9 ) alan kapladığı bulunmuştur. Birbirine çok yakın toplam kaplama alanları içinde en yüksek değer seramik küreler ile elde edilmiştir. Seramik kürelerin tam küresel formda oluşları birbirine yapışarak öbekler oluşturmasını kolaylaştırırken, tozlar içinde keskin köşeli olmasına rağmen en küçük tanecik toz dağılımı boyutuna sahip garnet ile yapılan kaplama da seramik kürelere çok yakın bir alan kaplayabilmiştir. En küçük alanın kaplanabildiği alümina tozlarında keskin köşeli olma ve tanecik boyutunun büyük olması etken faktörlerdir.

**Grafik 3.1.1:** Üç farklı toz ile kaplama sonrası yüzeydeki toz büyüklük dağılım histogramları ve yüzey dağılım haritaları



Katı partikül erozyon testleri sonrasında malzemede oluşan malzeme kaybı ve hasar miktarı, erozyon oranı tanımlanmasıyla ve hesabıyla analiz edilir. Erozyon oranı; erozyon testi sonrası malzemede oluşan ağırlık kaybının (mg), erozyon testinde kullanılan toplam aşındırıcı partikül ağırlığına (g) bölünmesiyle elde edilir (Harsha & Thakre, 2007) (Avcu et al., 2013). Birimi  $\text{mg/g}^{\ast}10^5$ 'dir. Grafik 3.1.2'de farklı 3 tür kaplama uygulanmış ve kaplamasız PLA ve ABS numunelerin erozyon oranları verilmiştir. Erozyon oranı değerleri çok küçük değerler olarak ortaya çıktığı için her sonuç  $10^5$  ile çarpılarak genişletilmiştir. Erozyon oranları hesaplanırken, her bir numune için testler 3 kez tekrarlanmış, 3 tekrarın ortalaması alınarak grafik oluşturulmuştur. Tekrarlı testlerde standart sapma; değerin % 3.2'si kadar olmuştur. Grafik 3.1.2'de, kaplamasız olarak erozif aşınma testleri gerçekleştirilen ABS ve PLA malzemelerden üretilmiş numunelerin erozyon oranları; ABS numune için  $14.38 (\text{mg/g})^{\ast}10^5$ ; PLA numune için  $-9.82 (\text{mg/g})^{\ast}10^5$  olmuştur. PLA malzemede erozif aşınma sonrası erozyon oranının negatif değerde çıkması, aşındırıcı partiküllerin PLA malzeme yüzeyine saplanarak gömüldüklerinin göstergesidir. Sünek malzemelerin karakteristik özelliklerinden biri olan hedef malzeme yüzeyine gömülme mekanizması PLA malzemede de gerçekleşmiştir. Kaplama yapılan numuneler içinde en düşük aşınma oranı garnet tozuyla kaplanmış numunelerde  $302.98 (\text{mg/g})^{\ast}10^5$ , en yüksek erozyon oranı ise  $368.77 (\text{mg/g})^{\ast}10^5$  olarak gerçekleşmiştir. Kaplamasız numunelerde çok daha düşük ortaya çıkan aşınma oranları, kaplama işleminin erozyon davranışını iyileştirmekten ziyade kötüleştirdiği sonucunu ortaya koymuştur. Diğer taraftan, kaplamalı numunelerde ortaya çıkan kütle kayıpları malzeme yüzeyine kaplanan tozların yerinden çıkarak ayrılması sonucu oluşmaktadır. Altlık malzemeye aşındırıcı partiküllerin teması ancak kaplama tozlarının yerlerinden çıktıktan sonra gerçekleşmektedir. Erozif aşınma testleri sonucu malzeme yüzeyinde oluşan hasar bölgesi pürüzlülük değerlendirmesi ve 3 boyutlu yüzey topografya analizleri pürüzlülük incelemelerinde irdelenmiştir.

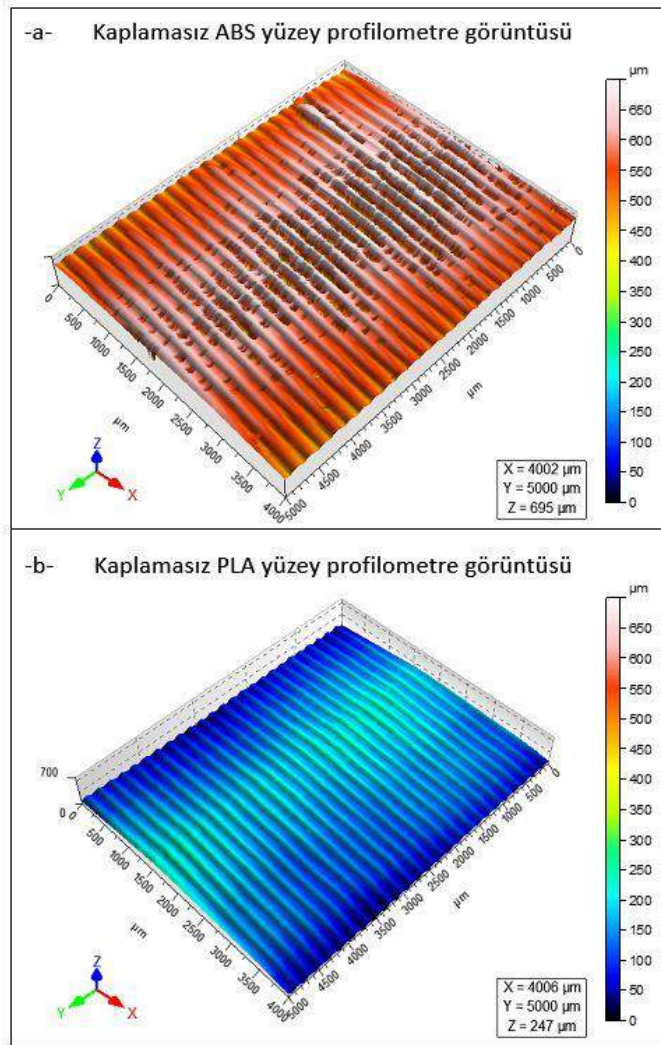
**Grafik 3.1.2:** Erozif aşınma testleri sonrası ortaya çıkan erozyon oranları



### 3.2. Yüzey Pürüzlülük Analizi

Yüzey pürüzlülüğünün mekanik parçanın kullanılabilirliği ve uyumluluğu üzerinde büyük etkileri vardır (Enhui, Jian, Yan, & Hongjing, 2019). Aynı zamanda üretilmek istenen parçaların yüzeyinde elde edilmek istenen pürüzlülük değeri; parçanın üretim maliyeti, üretim yöntemi ve kullanılan yöntem, kalite kontrolü gibi faktörler üzerinde birinci dereceden etkiye sahiptir. Herhangi bir yüzey pürüzlülüğü incelemesi, ölçümle başlamalı ve herhangi bir faydalı pratik amaca uygulanmadan önce ölçümleri karakterize ederek devam etmelidir (Thomas, 2014). Böylece genel kabul gören kural olan üç bölüme ayırarak (ölçüm, karakterizasyon ve uygulama) yüzey incelemesi gerçekleştirilir (Thomas, 2014). Yüzey pürüzlülüğü, malzemelerin yüzeylerinde ortaya çıkan nominal profilden artı ve eksi yönde olan yüzey sapmaları şeklinde tanımlanabilir. Yüzey pürüzlülüğünde, çizgisel bir hat üzerinden profilometre taraması yapılarak ortaya çıkan yüzey sapmalarının ortalaması alınarak yapılan ölçüm sonucu bulunan değer ortalama pürüzlülük ( $R_a$ ) olarak isimlendirilir. Diğer taraftan temassız profilometrelerin gelişimiyle alansal yüzey taramaları da gerçekleştirilerek alansal ortalama pürüzlülük değeri de ( $S_a$ ) bulunabilir ve görüntülenebilir hale gelmiştir. Bu çalışmada, daha sonra üzerine kaplama uygulanacak parçalar ABS ve PLA malzemeden imal edilmiş ve imalat sonrası kaplama yapılmadan her iki malzemeden üretilmiş silindirik parçaların yüzey pürüzlülük değerleri, profilometre yardımıyla taranarak yüzey pürüzlülükleri analiz edilmiştir. Grafik 3.2.1'de ABS ve PLA malzemeden imal edilmiş altlık silindirik parçaların, lazer profilometre ile taraması sonrası ortaya çıkan 3 boyutlu yüzey pürüzlülük görüntüsü verilmiştir. Her iki malzemenin yüzeyinden taranan  $20 \text{ mm}^2$  alanda pürüzlülüğe bağlı oluşan maksimum yükseklik farkı ( $S_z$ ), ABS malzemede  $695 \text{ }\mu\text{m}$  olurken PLA malzemede bu değer  $247 \text{ }\mu\text{m}$  olduğu ortaya çıkmıştır.  $S_z$  değeri; malzemenin normal yüzey eksenine göre; en üst noktadaki tepe uç noktası ile en dip noktadaki çukur uç noktası arası oluşan dikey mesafeyi tanımlar. ABS malzeme yüzeyinin aritmetik ortalama pürüzlülük ( $S_a$ ) değeri kontrol alanında  $52.9 \text{ }\mu\text{m}$ ; PLA malzeme için ise  $S_a$  değeri aynı koşullarda  $37.9 \text{ }\mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür. Bu sonuca göre, 3 boyutlu yazıcı ile üretimde, PLA malzeme kullanıldığında ABS ile üretime göre % 28,3 daha düşük yüzey pürüzlülüğü yani bir başka deyişle daha iyi yüzey kalitesi elde edilmiştir. PLA ve ABS hammaddeleri için oluşan yüzey kalitesi farkının, birbirinden farklı 3 boyutlu üretim parametrelerinden ortaya çıktığı değerlendirilmiştir. ABS ve PLA ile baskı sırasında farklı nozul ısıtma derecesi, ilerleme ve baskı hızları kullanılmaktadır.

**Grafik 3.2.1:** 3D printer ile kaplama için hazırlanan silindirik parçaların 3 boyutlu yüzey profilometre görüntüleri (a) ABS (b) PLA malzemeden üretilmiş

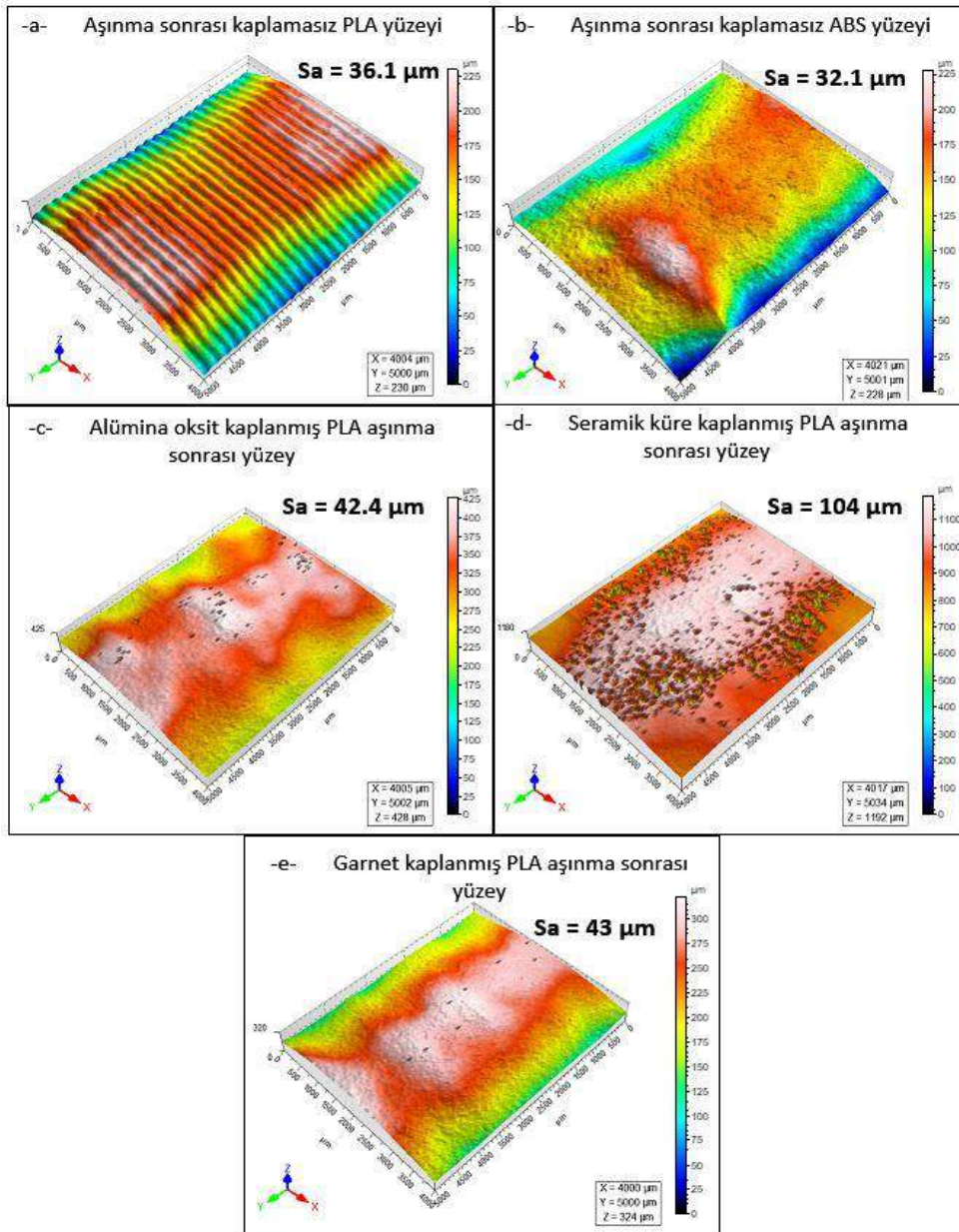


Eroziv aşınma sonrası kaplamasız ve üç farklı toz ile kaplanmış numunelerin yüzeyleri 3 boyutlu profilometre ile taranarak yüzey pürüzlülük haritası çıkarılmış ve Grafik 3.2.2'de verilmiştir. Profilometre taraması  $20 \text{ mm}^2$  alanda gerçekleştirilmiştir. Tarama yapılan alan, eroziv aşınma testleri sonrası ortaya çıkan erozyon kraterinin merkezi başlangıç noktası seçilerek çevreye doğru genişletilmiştir. Böylece eroziv aşınma testlerinde, nozul püskürme konisinin içinde aşındırıcı partiküllerin yüzeyde ortaya çıkardıkları hasarlar 3



boyutlu olarak ortaya konabilmiştir. Alanal pürüzlülük incelemesinde aritmetik ortalama pürüzlülük ( $S_a$ ) değeri olarak kaplamasız 3 boyutlu basılmış malzemelerden PLA ile üretilmiş parça yüzeyinde  $36.1 \mu\text{m}$  değeri ölçülürken, ABS ile üretilen numune yüzeyinde eroziv aşınma sonrası ölçülen  $S_a$  değeri  $32.1 \mu\text{m}$  olmuştur. Bu değer PLA numunede %11 daha yüksek çıkması sadece aşınma sonucu oluşan yüzey pürüzlülüğüne değil, aynı zamanda Grafik 3.2.2 (a)'da görüldüğü üzere 3 boyutlu basım esnasında PLA malzeme arakatlarında oluşan izlere de bağlıdır. Toz kaplama yapılan numunelerde eroziv aşınma sonrası ortaya çıkan  $S_a$  değerleri ise sırasıyla alümina oksitle kaplanmış yüzeyde  $42.4 \mu\text{m}$  (Grafik 3.2.2 (c)); seramik küre kaplanmış yüzeyde  $104 \mu\text{m}$  (Grafik 3.2.2 (d)) ve garnet kaplanmış yüzeyde  $43 \mu\text{m}$  (Grafik 3.2.2 (e)) olmuştur.  $S_a$  değeri sermik küre ile kaplanmış yüzeyde belirgin şekilde yüksek çıkmıştır. Grafik 3.2.2 (d) incelendiğinde yüzeyde çok fazla sayıda batma ve yerinden çıkma izinin olduğu görülmektedir. Seramik küre tozlar tam küresel geometriye sahiptirler. Alumina aşındırıcı tozların yüzeyde bulunan seramik kürelere çarpması sonucu sermik kürelerin parçalanarak kaplama yüzeyinden ayrıldığı ve yerinden çıkmaları sonucu Grafik 3.2.2 (d)'de net şekilde görülen oyukların  $S_a$  değerini artırdığı gözlemlenmiştir. Diğer taraftan, bir başka ilginç sonuç alüminyum oksit tozla kaplanmış numune yüzeyinde gözlemlenmiştir Grafik 3.2.2 (c). En düşük  $S_a$  değeri  $42.4 \mu\text{m}$  olarak alümina oksitle kaplanmış numune yüzeyinde oluşurken aynı zamanda en yüksek erozyon oranı da bu numunede ortaya çıkmıştır (Grafik 3.1.2). Grafik 3.2.2 (c) incelendiğinde, eroziv aşınmaya bağlı bölgesel derin batma ve toz kaplamada kullanılan partiküllerin yerinden çıkması yüzeyde az sayıda gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak  $S_a$  değeri düşük çıkmıştır. Diğer taraftan, aşındırıcı partiküllere maruz kalan kaplanmış yüzeyin tamamında malzeme kaybı gözlemlenmiş, buna bağlı olarak erozyon oranı diğer tozlarla kaplama yapılmış numunelerden daha yüksek olmuştur.

**Grafik 3.2.2:** Eroziv aşınma sonrası 3 boyutlu yüzey pürüzlülüğü görüntüleri (a) kaplamasız PLA yüzeyi (b) kaplamasız ABS yüzeyi (c) alümina oksit kaplanmış PLA yüzeyi (d) seramik küre kaplanmış PLA yüzeyi (e) garnet kaplanmış PLA yüzeyi



#### 4. Sonuç



3D yazıcı ile üretilen silindirik deney numunelerinin yüzeyi farklı 3 toz ile kaplanarak (alümina oksit, seramik küre ve garnet) sonrasında eroziv aşınma testleri yapılmıştır. 3D baskı yöntemiyle üretilen parçaların zorlu şartlar altında servis ömürlerini uzatmak amacıyla yapılan toz kaplama işlemi sonrası, erozyon testlerinde en fazla erozyon oranı alüminyum oksit toz ile kaplanan PLA parçada gözlemlenirken en düşük erozyon oranı garnet ile kaplanmış PLA numunede gözlemlenmiştir. Kaplamasız 3D yazıcı ile üretilen PLA ve ABS malzemelerde, ABS malzemede erozyon oranı pozitif gerçekleşirken (aşınma gerçekleşmiş); PLA malzemede negatif erozyon oranının ortaya çıkması aşındırıcı partiküllerin malzemeye gömülerek saplandığının ve kütle artışına sebep olduğunun göstergesidir. ABS malzemede aşındırıcı partiküllerin yüzeye gömülme yapmalarının sebebi malzemin 3D basım sonrası daha sert yüzey özelliği kazanarak PLA malzemeye göre daha gevrek yapı göstermesidir.

Diğer taraftan, eroziv aşınmaya maruz kalmış toz kaplanmış yüzeylerin yüzey pürüzlülükleri analzi edildiğinde en yüksek pürüzlülük değeri seramik küre toz ile kaplanmış numune yüzeyinde ortaya çıkmış, en düşük pürüzlülük değeri ise alümina oksit toz ile kaplanmış numune yüzeyinde gözlemlenmiştir.

## Kaynakça

- Avcu, E., Fidan, S., Bora, M. Ö., Çoban, O., Taşkıran, İ., & Sinmazçelik, T. (2013). Solid Particle Erosive Wear Behavior of Glass Mat Reinforced PPS Composites: Influence of Erodent Particle Size, Pressure, Particle Impingement Angle, and Velocity. *Advances in Polymer Technology*, 32(S1), E386–E398. <https://doi.org/10.1002/adv.21286>
- Bhaduri, D., Penchev, P., Batal, A., Dimov, S., Soo, S. L., Sten, S., ... Dong, H. (2017). Laser polishing of 3D printed mesoscale components. *Applied Surface Science*, 405, 29–46. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.01.211>
- Enhui, L., Jian, L., Yan, X., & Hongjing, Q. (2019). The influences of light source and roughness ranges on colour image-based visual roughness measurement performance. *Measurement*, 147, 106855. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.106855>
- Harsha, a. P., & Thakre, A. a. (2007). Investigation on solid particle erosion behaviour of polyetherimide and its composites. *Wear*, 262(7–8), 807–818. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2006.08.012>
- Kumar, R., Antonov, M., Beste, U., & Goljandin, D. (2020). Assessment of 3D printed steels and composites intended for wear applications in abrasive, dry or slurry erosive conditions. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 86, 105126. <https://doi.org/10.1016/J.IJRMHM.2019.105126>
- Lanzetta, M., & Sachs, E. (2003). Improved surface finish in 3D printing using bimodal powder distribution. *Rapid Prototyping Journal*, 9(3), 157–166. <https://doi.org/10.1108/13552540310477463>
- Thomas, T. R. (2014). Roughness and function. *Surface Topography: Metrology and Properties*, 2(1). <https://doi.org/10.1088/2051-672X/2/1/014001>
- Zhou, L. Y., Zhang, H., Pei, X. Q., Friedrich, K., Eger, C., & Zhang, Z. (2013). Erosive wear of transparent nanocomposite coatings. *Tribology International*, 61, 62–69. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2012.11.021>



# Erzincan ili elma ağaçlarında bulunan zararlı ve faydalı böcek türleri ile bazı önemli zararlı türlerin doğada görülme zamanı

İsmail Alaserhat<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Erzincan, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6929-0179)

(İlk Geliş Tarihi 2 Aralık 2019 ve Kabul Tarihi 31 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.653944)

**ATIF/REFERENCE:** Alaserhat, İ. (2019), Erzincan İli Elma Ağaçlarında Bulunan Zararlı ve Faydalı böcek Türleri ile Bazı Önemli Zararlı Türlerin Doğada Görülme Zamanı, (17), 1116-1124.

## Öz

Bu çalışma, 2011-2013 yılları arasında Erzincan ili elma alanlarındaki fitofag ve faydalı türler ile bazı önemlilerin doğada görülme zamanı belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Örneklemelerde elma bahçelerinde ağaç dallarına yapılan darbe yöntemi ve türlere özgü eşeyssel çekici tuzaklar kullanılmıştır. Ayrıca ergin öncesi dönemde olanlar ve parazitoit türler için kültüre alma yöntemi kullanılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, elma bahçelerinde fitofag türlerden 25 böcek ve 1 akar ile genel predatör ve parazitoitlerden 21 faydalı böcek türü saptanmıştır. Zararlı türlerden *Cydia pomonella* (Linnaeus), *Archips rosana* (Linnaeus), *Aphis pomi* de Geer, *Eriosoma lanigerum* (Hausmann), *Lepidosaphes ulmi* (Linnaeus), *Tropinota (Epicometis) hirta* (Poda), *Anthonomus pomorum* (Linnaeus), *Polydrusus ponticus* Faust ve *Tetranychus urticae* Koch.'un ekonomik yönden zararlı olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte *Adalia bipunctata* (Linnaeus), *Adalia fasciatopunctata revelieri* (Mulsant), *Coccinella semtempunctata* (Linnaeus), *Oenopia (Synharmonia) conglobata* (Linnaeus) (Coleoptera: Coccinellidae), *Episyrphus balteatus* De Geer (Diptera: Syrphidae), *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae) ve *Aphelinus mali* (Haldeman) (Hymenoptera: Aphelinidae) en fazla görülen yararlı türler olarak belirlenmiştir. Zararlı türlerden olan Elma içkurdu (*C. pomonella*) erginlerinin mayıs-eylül, Elma yeşil yaprakbiti (*A. pomi*) ergin ve nimflerinin mayıs-ekim, İki noktalı kırmızı örümcek (*T. urticae*) ergin ve nimflerinin mayıs-ekim, Baklazınını (*T. hirta*) erginlerinin mayıs ayı içerisinde ve Elma gözkurdu (*A. pomorum*) erginlerinin ise nisan sonu-mayıs başı döneminde doğada görüldüğü tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Elma, Zararlılar, Parazitoit, Predatör, Erzincan.

## Phytophagous and beneficial species on apple trees, time to be seen some important species in nature in Erzincan province

### Abstract

The study was conducted in 2011-2013, with the purpose of determining the phytophagous and beneficial species in apple orchards and time to be seen of some important pests in nature in Erzincan provinces. In the samplings, the impact method applied to tree branches and sexually attractive traps specific to the species were used in apple orchards. In addition, cultivation method was used for pre-adult and parasitoid species. According to the results of the study, it was determined that 25 insects and 1 mite from phytophagous species and 21 beneficial insect species from general predators and parasitoids in apple orchards. It was observed that *Cydia pomonella* (Linnaeus), *Archips rosana* (Linnaeus), *Aphis pomi* de Geer, *Eriosoma lanigerum* (Hausmann), *Lepidosaphes ulmi* (Linnaeus), *Tropinota (Epicometis) hirta* (Poda), *Anthonomus pomorum* (Linnaeus), *Polydrusus ponticus* Faust and *Tetranychus urticae* Koch, which were harmful species, were economically harmful. However, *Adalia bipunctata* (Linnaeus), *Adalia fasciatopunctata revelieri* (Mulsant), *Coccinella semtempunctata* (Linnaeus), *Oenopia (Synharmonia) conglobata* (Linnaeus) (Coleoptera: Coccinellidae), *Episyrphus balteatus* De Geer (Diptera: Syrphidae), *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae) and *Aphelinus mali* (Haldeman) (Hymenoptera: Aphelinidae) were identified as the most useful species. It was determined that, some important phytophagous species respectively in May-September of *C. pomonella* adults, in May-October of *A. pomi* adult and nymphs, in May-October of *T. urticae* adult and nymphs, in May *T. hirta* adults and in end of April-early May of *A. pomorum* adults were seen in the nature

**Key words:** Apple, Pests, Parasitoid, Predator, Erzincan.

\* Sorumlu Yazar: Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Erzincan, Türkiye, ORCID: 0000-0002-6929-0179, [i\\_alaserhat36@hotmail.com](mailto:i_alaserhat36@hotmail.com)

## 1. Giriş

Ilıman iklim meyve türleri içerisinde yer alan elmanın anavatanı, Anadolu da dâhil olmak üzere Güney Kafkasya'ya uzanmakta ve kültürü milattan öncelere kadar dayanmaktadır. Türün farklı ekolojilere uyum kabiliyetinin yüksek olması, dünya üzerinde geniş bir yayılım göstermesine neden olmuştur. Dolayısıyla elma; toplam dünya meyve endüstrisinin yaklaşık %13'ünü oluşturmakta ve muz, üzüm ve portakaldan sonra 4. büyük tür olarak karşımıza çıkmaktadır (Karamürsel, 2009). Dünya elma üretimi 83.139.326 ton olup Türkiye 3.032.164 ton ile dünya elma üretiminde Çin ve ABD'den sonra üçüncü sırada yer almaktadır (Anonymous, 2017).

Ülke ekonomisi ve halkın beslenmesi açısından önemli ürünlerden biri olan elmanın büyük bir bölümü taze olarak tüketilmekte; başta meyve suyu, konsantresi ve püresi olmak üzere sirke, pekmez, reçel, marmelat, çay, cips ve elma kurusu gibi yan ürünleri de elde edilebilmektedir (Anonim, 2011).

Elma meyvesi, yüksek antioksidan aktiviteye sahip olduğundan lipit oksidasyonunu azaltmada, kolesterolü düşürmede ve kanser hücrelerinin çoğalmasını engellemede çok etkindir. Elmada kuersetin, kateşin, epikateşin, prosiyanidin, klorojenik asit, gallik asit, floridizin, betakaroten gibi güçlü antioksidanlar vardır. Elmada bulunan fitokimyasalların insan sağlığına olan etkileri oldukça geniş ve yararlıdır. Bir İsveç atasözü vardır. "Her gün bir elma ye, bir doktoru uzaklaştır." (Bulantekin ve Kuşcu, 2017).

Ülkemizde elmada zararlı olan zararlı böcekler ve doğal düşmanları üzerine İren, 1977; Düzgüneş ve Toros, 1978; Yiğit ve Uygun, 1982; Çiftçi ve ark., 1985; Özkan, 1986; Erden, 1988; Kiroğlu, 1992; Çiftçi ve ark., 1995; Özbek ve ark., 1998; Zeki ve ark., 1998; Bozbek ve ark., 2009; Karaca et al., 2010; Bozbek 2012; Canbay ve Tozlu, 2013; Alaserhat, 2015; Yaman ve ark., 2016; Küçükbalı ve Karaca, 2018 gibi bir çok sayıda araştırmacı çalışma yürütmüş ve elmada 70'in üzerinde zararlı böcek türü olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar, bunlardan bazılarının çiçek, tomurcuk ve meyvelerde bazılarının da hem yapraklarda beslenmesi hem de yaprakları bükmesi ve ağacın kök, gövde dalların içinde beslenerek önemli zararlara neden olduklarını belirtmişlerdir.

Çalışmanın yürütüldüğü Erzincan ilinde elma bahçelerinde üretimi sınırlayan önemli etkenlerden birisi bitki koruma sorunlarıdır. Nitekim yapılan araştırmalar ve bölge illerindeki ilgili tarım kuruluşlardan ve üreticilerden edinilen bilgiler sonucu, elma zararlılarının bölgede önemli oranda zarara sebep olduğu pestisit kullanımının giderek arttığı belirlenmiştir. Bölgedeki elma bahçelerinde bulunan bu zararlı böcek türlerinin, ekonomik yönden önemli oranda zarara neden olduğu gözlemlenmiştir. Son zamanlarda bölgede meyve bahçelerinde zararlı organizma türleri ile mücadelede gelişmiş güzel pestisit kullanımının sonucunda var olan doğal denge bozulacak, buda ileriki yıllarda zararlıların salgın yapma ihtimalini arttıracaktır. Mevcut olan bu olumsuz durumun iyileştirilmesi hem çevre ve insan sağlığı hem de kaliteli ürünün piyasaya sunulması açısından önemlidir. Bu nedenle sürdürülebilir tarımsal üretim ve kalkınmayı sağlamak için entegre mücadele sisteminin uygulanması gerekmektedir.

Bu çalışma sonucunda elma bahçelerindeki zararlı türler ile etkili bir mücadele yapabilmek için gerekli olan elma plantasyonlarındaki türlerin belirlenmesi, doğada görülme zamanı ve zarar şekli ortaya konulmuştur.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Çalışmanın ana materyalini Erzincan ili Merkez ve Üzümlü ilçelerinde bulunan elma bahçeleri ile bu bahçelerden toplanan farklı türlere ait gerek ergin ve gerekse ergin öncesi dönemler oluşturmuştur. Ayrıca türlere göre değişimle beraber farklı feromon tuzaklar, kültür kapları, stereomikroskop, preparasyon için kullanılan lam-lamel, böcek iğneleri, ephendorf tüpleri vb. malzemeler çalışmanın diğer materyallerini oluşturmuştur.

### 2.2. Metot

#### 2.2.1. Doğa Çalışmaları

Erzincan ili Merkez ilçeye bağlı Bahçeliköy, Cevizli köyleri; Dörtler ve Yalnızbağ beldeleri ile Üzümlü ilçesine bağlı Üzümlü Merkez ve Bayırbağ köyünden birer bahçe olmak üzere 6 elma bahçesinde sürveyler yapılmıştır (Çizelge 1). Çalışma, tesadüfi örnekleme yöntemine göre ildeki toplam ağaç sayısının % 0.1'i esas alınarak yürütülmüştür (Bora ve Karaca, 1970). Elma bahçelerinde 2011-2013 yılları arasında vejetasyon süresi boyunca haftada bir kez örnekler düzenli aralıklarla alınmıştır. Örnekleme bahçelerin ilaçlanmamış ve bakımsız olmasına özen gösterilmiş ve her bahçede incelenen ağaç sayısı Grigorov (1974)'a göre belirlenmiştir. Bu yöntemle göre; 20 ağaç olan bahçelerde bütün ağaçlar, 21-70 ağaç olanlarda 21-30, 71-150 ağaç olanlarda 31-40, 151-300 ağaç olanlarda 41-80, 301-1000 ağaç olanlarda ağaçların %15'i kontrol edilmiştir.

Çizelge 1. Çalışmaların yürütüldüğü bahçeler ve ağaç sayıları

İlçeler	Köyler ve beldeler	Bahçedeki ağaç sayısı	İncelenen ağaç sayısı
Merkez	Bahçeliköy	50	25
	Cevizli	500	75
	Dörtler	40	25
	Yalnızbağ	50	25
Üzümlü	Üzümlü Merkez	20	20
	Bayırbağ	15	15

#### 2.2.1.1. Göz ile inceleme yöntemi

Vejetasyon süresince elma ağaçlarında var olan zararlı ve faydalı böcekleri saptamak amacıyla haftalık aralıklarla, bahçeyi temsil edecek şekilde Grigorov (1974)'a göre yeterli sayıda elma ağacının kök boğazı, gövde, dal, sürgün, yaprak, tomurcuk, çiçek ve

meyveleri 10 büyütme lup ile dikkatlice incelenmiştir (Anonim, 2008). Gerekli görüldüğünde, bu bitki parçaları polietilen torbalara konularak laboratuvara getirilmiş ve burada stereo mikroskop altında incelemeleri yapılmıştır.

### 2.2.1.2. Darbe yöntemi

Bu yöntem ağaçların üzerinde bulunan ve hareketli olan zararlı, faydalı türlerin belirlenmesi için kullanılmış olup vejetasyon süresince haftalık aralıklarla uygulanmıştır. Örnekleme yapılabilecek bahçelerdeki ağaç sayısına göre, bahçeyi temsil edecek şekilde tesadüfen seçilmiş ağaçların dört yönünden birer dalına üzeri lastik hortumla kaplı sopa ile üç kez aynı hızla vurularak (toplam 100 darbeye) hareketli olan zararlı ve yararlıların steiner hunisine düşmeleri sağlanmıştır (Anonim, 2008). Darbe aletinin dibinde bulunan öldürme şişesinde toplanan türler, önce etil asetatla öldürülmüş daha sonra petri kutusuna konularak laboratuvara getirilmiş, tasnif edilmiş, etiketlenmiş ve teşhise gönderilmiştir.

### 2.2.1.3. Dal sayımı ve kültüre alma yöntemi

Kışı ağaç üzerinde geçiren kabuklubit, koşnil gibi zararlıları ve yaprakbiti türlerinin parazitoitlerini saptamak amacı ile elma bahçelerinden sürgün ve dal örnekleri alınmıştır. Bu amaçla yaklaşık olarak 20 cm uzunluğundaki birer dal parçası veya sürgün kesilerek, bir kese kâğıdına veya polietilen torbaya konulmuş ve buz kutusu içinde laboratuvara getirilmiştir. Bu dallar, laboratuvarında bir stereomikroskop altında incelenerek gerekli incelemeler yapıldıktan sonra, diğer zararlılardan ve artıklardan temizlenerek oda koşullarında (25°C sıcaklık ve %60–80 orantılı nem) parazitoit çıkartma kutularında kültüre alınmıştır (Anonim, 2008). Elde edilen ergin parazitoit böcekler aspiratör ve yumuşak pens yardımıyla %90'lık etil alkol bulunan ephendorf tüplerin içine alınmış ve teşhise gönderilmiştir.

### 2.2.1.4. Feromon tuzakların kullanımı

Erzincan ili Merkez ve Üzümlü ilçesine bağlı birer bahçede zararlı Tortricidae familyasına bağlı türleri belirlemek amacı ile Pherocon tipi eşeysel çekici tuzaklar kullanılmıştır. Tuzaklar ağaçlarının güney doğu yönüne, yerden 1,5–2 metre yüksekliğe ve hâkim rüzgâr yönüne asılmıştır. Tuzak kapsülleri, prospektüsüne uygun olarak 4–6 haftalık aralıklarla değiştirilmiştir (Anonim, 2008; Canbay ve Tozlu, 2013). Vejetasyon boyunca asılı olan tuzaklar haftalık olarak kontrol edilmiş, kirlenen yapışkan tablaları yenileri ile değiştirilmiştir.

### 2.2.2. Laboratuvar Çalışmaları

Bahçelerden toplanan böcekler ve akar türü laboratuvarında önce birbirlerine benzerliklerine göre gruplandırılarak numaralandırılmıştır. Bununla birlikte yaprakbitleri (afit) gibi yumuşak vücutlu olan bireyler %70'lik alkol içine alınmıştır. Ergin öncesi dönemde bulunan bireyler ise buldukları bitki kısmıyla beraber laboratuvarında ayrı ayrı kültür kafeslerine alınarak ergin elde edilmeye çalışılmıştır. Daha sonra böcekler takım, familya ve türlerine göre iğnelenip, etiketlenerek uygun kutulara alınmış tanılanmaları için konu uzmanlarına gönderilmiştir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Zararlı türler

Çalışma sonuçlarına göre örnekleme bahçelerinde fitofag türlerden 25 böcek ve 1 akar olmak üzere toplam 26 zararlı tür tespit edilmiştir (Çizelge 2). Saptanan zararlı türlerden *Cydia pomonella* (Linnaeus), *Archips rosana* (Linnaeus), *Aphis pomi* de Geer, *Eriosoma lanigerum* (Hausmann), *Lepidosaphes ulmi* (Linnaeus), *Tropinota (Epicometis) hirta* (Poda), *Anthonomus pomorum* (Linnaeus), *Polydrusus ponticus* Faust ve *Tetranychus urticae* Koch.'un ekonomik yönden zararlı olduğu gözlemlenmiştir.

**Çizelge 2.** Erzincan ili elma ağaçlarında 2011-2013 yıllarında belirlenen zararlı böcek ve akar türleri

Takım	Familiya	Tür
Acarina	Tetranychidae	<i>Tetranychus urticae</i> (Koch) <i>Aphis pomi</i> de Geer <i>Brachycaudus helichrysi</i> (Kaltenbach)
Hemiptera	Aphididae	<i>Dysaphis devector</i> (Walker) <i>Dysaphis (Pomaphis) plantaginea</i> (Passerini) <i>Eriosoma lanigerum</i> (Hausmann)
	Diaspididae	<i>Diaspidiotus perniciosus</i> (Comstock)
	Scarabaeidae	<i>Lepidosaphes ulmi</i> (Linnaeus) <i>Tropinota (Epicometis) hirta</i> (Poda) <i>Anthonomus amygdali</i> Hustache <i>Anthonomus pomorum</i> (Linnaeus) <i>Ceutorhynchus picitarsis</i> Gyllenhal
	Curculionidae	<i>Magdalis ruficornis</i> (Linnaeus) <i>Phyllobius glaucus</i> (Scopoli) <i>Polydrusus ponticus</i> Faust <i>Sibinia primita</i> (Herbst)
Coleoptera	Rhynchitidae	<i>Rhynchites auratus</i> (Scopoli) <i>Rhynchites bacchus</i> (Linnaeus)
	Scolytidae	<i>Scolytus rugulosus</i> (Müller) <i>Archips podana</i> (Scopoli)
	Tortricidae	<i>Archips rosana</i> (Linnaeus) <i>Archips xylosteana</i> (Linnaeus) <i>Cydia pomonella</i> (Linnaeus)
	Lepidoptera	<i>Malacosoma neustria</i> (Linnaeus) <i>Stigmella malella</i> (Stainton)
Lepidoptera	Lasiocampidae	<i>Yponomeuta malinellus</i> Zeller
	Nepticulidae	
	Yponomeutidae	

Ülkemiz elma alanlarında yapılan çeşitli çalışmalarda; Yiğit ve Uygun (1982), Adana, Mersin ve Kahramanmaraş illeri elma bahçelerinde zararlı ve faydalı türlerin belirlenmesi üzerine yürüttükleri çalışma sonucunda, 6 takıma ait 42 familyaya bağlı 132 fitofag tür belirlemişler ve bunlardan 38'inin elma bahçelerinde zararlı türler olduğunu ifade etmişlerdir. Çiftçi ve ark. (1985), Antalya ili elma bahçelerindeki önemli zararlılar ile doğal düşmanlarının tespiti üzerine yapmış oldukları çalışmada, *C. pomonella*, *Phyllonorycter gerdsimowi* Hering, *Leucoptera malifoliella* Costa, *A. pomi*, *D. plantaginea*, *E. lanigerum*, *L. ulmi*, *Tetranychus viennensis* Zacher ve *Cenopalpus pulcher* Canestrini et Fanzaga'ı elma bahçelerindeki önemli zararlı türler olarak tespit etmişlerdir. Erden (1988), Erzincan bölgesi (Erzincan, Sivas, Gümüşhane, Tunceli-Pertek, Erzurum-İspir ve Kars-Kağızman) yumuşak çekirdekli meyve ağaçlarında yapmış olduğu çalışma sonucunda 45 zararlı tür tespit etmiş bunlardan 34 türün elmada zararlı olduğunu saptamıştır. Ayrıca araştırmacı bu türlerden 8 türün zarar ve yoğunluk açısından elmada önemli türler olduğunu belirtmiştir. Yanar ve Ecevit (2005), Tokat ili elma bahçelerinde görülen bitki zararlısı ve predatör akar türlerinin belirlenmesi üzerine yürüttükleri çalışma sonucunda *T. urticae*'nin içinde yer aldığı Tetranychidae familyasından 5, Eriophyidae familyasından 2, Tarsonemidae ve Tenuipalpidae familyalarından birer tür olmak üzere toplam 9 zararlı; Phytoseiidae familyasından 7 ve Stigmaeidae familyasından 1 tür olmak üzere toplam 8 faydalı akar türü belirlemişlerdir. Ayaz ve Yücel (2010), Elazığ ili elma alanlarında yürüttükleri çalışma sonucunda 6 takıma bağlı 20 familyaya ait 31 zararlı arthropod türü ile 3 takıma bağlı 4 familyaya ait 7 faydalı böcek türü tespit etmişlerdir. Karaca et al. (2010), Isparta ili elma bahçelerinde yürütmüş oldukları çalışmada 4 takıma ait 19 zararlı tür saptamışlardır. Bu türler içerisinde yer alan elma iç kurdunun (*C. pomonella*), Isparta ili elma bahçeleri için ana zararlı olduğunu ifade etmişlerdir. Bozbek (2012), Erzincan ilinde elma ağaçlarında görülen Coccoidea (Hemiptera) üst familyasına ait 3 tür belirlemiş olup bunlardan *D. perniciosus*'un diğer türlere göre daha yoğun ve yaygın olarak bulunduğunu ifade etmiştir. Küçükballı ve Karaca (2018), Isparta ilinde yürüttüğü çalışma sonucunda *C. pomonella*, *A. pomi*, *D. plantaginea*, *T. urticae* ve *Pananychus ulmi* (Koch.)'nin elma bahçelerinde önemli zararlılar olduğunu ifade etmişlerdir.

### 3.2. Faydalı türler

Örnekleme, elma bahçelerindeki zararlı organizmaların doğal düşman türlerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla elma bahçelerinden toplanan ve laboratuvarında kültüre alınan zararlı ile bulaşık bitki örneklerinde parazitoit ve predatörler saptanmaya çalışılmıştır. Elma bahçelerinde ağaç dallarına yapılan darbe yöntemi yanı sıra parazitlenmiş örneklerin kültüre alınması ile elde edilen genel predatör ve parazitoitlerden olan 6 takıma bağlı 9 familya ait 21 faydalı böcek türü saptanmıştır (Çizelge 3).



Çizelge 3. Erzincan ilinde 2011-2013 yıllarında elma bahçelerinde belirlenen genel predatör ve parazitoit türleri

Takım	Familiya	Tür
Dermaptera	Forficulidae	<i>Forficula auricularia</i> Linnaeus
		<i>Anthocoris nemoralis</i> (Fabricius)
Hemiptera	Anthocoridae	<i>Orius minutus</i> (Linnaeus)
		<i>Deraecoris (Knightocapsus) lutescens</i> (Schilling)
Neuroptera	Miridae	<i>Chrysoperla carnea</i> (Stephens)
		Chrysopidae

Yiğit ve Uygun (1982), Adana, Mersin ve Kahramanmaraş illeri elma bahçelerinde yürüttükleri çalışma sonucunda, 7 takıma ait 21 familyaya bağlı toplam 67 faydalı tür tespit etmişlerdir. Çiftçi ve ark. (1985), Antalya ili elma bahçelerindeki önemli zararlılar ile doğal düşmanlarının tespiti üzerine yapmış oldukları çalışmada, 15 predatör ve 1 parazitoit ile birlikte toplam 16 faydalı böcek türü bulduklarını bildirmişlerdir. Özdemir ve Özdemir (2002), Orta Anadolu Bölgesinde 1984-2001 yılları arasında *Archips* türlerinde (Lepidoptera: Tortricidae) saptanan Ichneumonidae (Hymenoptera) familyasına ait türler ile ilgili yaptıkları çalışmada toplam 14 parazitoit türü saptamışlardır. Piekarska-Boniecka ve ark., (2008), tarafından 2004 ve 2007 yıllarında Polonya'daki elma bahçelerinde *A. rosana*'nın parazitoit tür kompozisyonu ve parazitlenmesi üzerine yaptıkları çalışmada *A. rosana* pupasının Ichneumonidae, Chalcidoidea (Hymenoptera) ve Tachinidae (Diptera) gruplarının parazitoitleri ile parazitlendiğini belirlemişlerdir. Yardım ve ark. (2003), Van ili elma bahçelerinde yürütmüş oldukları çalışma sonucunda, 13 adet predatör tür tespit saptamışlardır. Bozбек (2012), Erzincan ilinde elma ağaçlarında görülen Coccoidea (Hemiptera) üst familyasına ait 3 tür belirlemiş olup bunlar üzerinde *C. carnea* (Chrysopidae), *Exochomus quadripustulatus* (Linnaeus), *A. bipunctata*, *A. fasciatopunctata revelieri*, *C. bipustulatus*, *C. septempunctata*, *C. quatuordecimpustulata*, *O. conglobata*, *S. punctillum*, *S. pallipediformis* (Coccinellidae), teşhisi yapılamayan Cecidomyiidae familyasına ait bir tür olmak üzere 11 predatör ile *Pteroptrix* sp. nr. *longiclava*, *Prospaltella perniciosi*, *Coccophagoides similis*, *Prospaltella* sp. ve *Aphytis* sp. (Aphelinidae) olmak üzere 5 parazitoit tür tespit etmiştir. Alaserhat (2015), Erzincan ve Gümüşhane illerinde elma ağaçlarında 9 adet yaprakbiti tespit etmiş olup, bu yaprakbitleri üzerinde beslenen Forficulidae (1), Anthocoridae (5), Miridae (1), Chrysopidae (3), Raphidiidae (1), Coccinellidae (20), Syrphidae (5), Chamaemyiidae (1), Hybotidae (1) familyalarından 38 adet predatör ile Braconidae (7) ve Aphelinidae (1) familyalarından 8 adet parazitoit olmak üzere toplam 46 adet faydalı tür tespit etmiştir. Mdelle ve Ben Halima Kamel (2015), Tunus'ta elma bahçelerinde 2013-2015 yıllarında yapmış oldukları çalışma sonucunda *A. pomi*, *D. plantaginea* ve *E. lanigerum* olmak üzere 3 adet yaprakbiti tespit etmiş olup, bunlar üzerinde beslenen Coccinellidae (2), Syrphidae (2), Cecidomyiidae (1) familyalarından 5 predatör tür ile Braconidae familyasından 1 parazitoit tür olmak üzere toplam 6 doğal düşman tür belirlemişlerdir. Porcel ve ark. (2018), İsviçre'nin güneyindeki Scania'daki elma bahçelerinde yürütmüş oldukları çalışma sonucunda Forficulidae, Anthocoridae, Chrysopidae, Coccinellidae, Cantharidae ve Cecidomyiidae familyalarına giren 18 predatör tür tespit etmişlerdir.

Tespit edilen faydalı türlerden olan Braconidae ve Aphelinidae familyalarına giren parazitoit türler, çalışma süresince belirlenen yaprakbiti türlerinde elde edilmiştir. Çalışmanın yürütüldüğü elma bahçelerinde bulunan ve genel predatörlerden biri olan Coccinellidae familyasına ait 9 tür tespit edilmiştir. Bu türlerden *A. bipunctata*, *A. fasciatopunctata revelieri*, *C. semtempunctata* ve *O. conglobata* türleri Erzincan ilindeki elma alanlarında yoğun olarak bulunmuştur. Çalışmanın yapıldığı elma bahçelerinde Syrphidae familyasına bağlı *E. balteatus* ve *E. corollae* türleri belirlenmiştir. Ayrıca survey yapılan elma alanlarında yoğun şekilde Chrysopidae familyasına ait *Chrysoperla carnea*'nin ergin ve larvaları saptanmıştır.

Bozбек (2012) elma alanlarında; Kaplan ve Yücel (2014) çilek alanlarında; Kaplan ve Bayhan (2014) bağ alanlarında; Kaplan ve ark. (2016) zeytin bahçelerinde; Alaserhat ve Güçlü (2016) kuşburnu alanlarında; Alaserhat ve Canbay (2017) biber alanlarında; Alaserhat ve Kaplan (2017) akasya alanlarında zararlı böcek türleri ile bir arada bulunan predatörlerden Anthocoridae familyasından *Orius minutus*, Chrysopidae familyasından *Chrysoperla carnea*, Nabidae familyasından *Nabis punctatus* Costa, Reduviidae familyasından *Nagusta goedeli* Kolenatil, Coccinellidae familyasından *Adalia bipunctata*, *A. decempunctata* (Linnaeus), *A. fasciatopunctata revelieri*, *Chilocorus bipustulatus*, *Coccinella semtempunctata*, *C. undecimpunctata* L., *Exochomus quadripustulatus*, *Hippodamia variegata* Goeze, *Oenopia (Synharmonia) conglobata*, *Stethorus* sp. ve *Scymnus* sp., Syrphidae familyasından *Episyrphus balteatus*, *Eristalis arbustorum* L. ve *Eupeodes corollae*'yi tespit ettiklerini ve bu türleri söz konusu bitkisel üretim alanlarında yaygınlık ile yoğunluk açısından önemli bulduklarını bildirmişlerdir.

Daha önceden yapılan çalışmalarda Cranshaw (2004), *C. carnea* erginlerinin nektar ve polen ile beslendiğini, larvalarının ise thrips, yaprakbiti ve küçük tırtılların predatörü olduğunu bildirmiştir. Öncüer (1991), *C. carnea*'nın yaprakbitleri üzerinde ciddi etkileri olduğunu belirtmiştir. Ayrıca Kaya ve Öncüer (1988) ve Yoldaş (1994), *C. carnea*'nın polifag bir tür olduğu, larvalarının thripsler, yaprakbitleri, bazı kabuklubitler, lepidopter yumurta ve larvaları, pysillidler, Chrysomelidae familyasına bağlı larvalar, bazı akar türleri ve beyaz sinekler ile beslendiğini bildirmişlerdir.

### 3.3. Bazı önemli zararlı türlerin doğada görülme zamanı

Çalışmanın yürütüldüğü elma bahçelerinde 26 zararlı türden en yoğun olarak Lepidoptera takımının Tortricidae familyasından *C. pomonella* başta olmak üzere 4 adet Tortricidae türü belirlenmiştir. Belirlenen bu türlerden olan ve elma bahçelerinin ana zararlısı konumunda olan Elma içkurdu (*C. pomonella*)'nun erginleri Mayıs ayının ikinci haftasında itibaren eşeyssel çekici tuzaklarda görülmeye başlanmış olup, son olarak ise Eylül ayının ilk haftasında tuzaklarda yakalanmıştır. Ergin kelebeklerin doğadaki uçuş periyodunun yaklaşık olarak 4 ay kadar sürdüğü saptanmıştır. Gerek eşeyssel çekici tuzaklarda yapılan ergin sayımları ve gerekse de vuruklu meyve incelemeleri sonucunda zararlının Erzincan ilinde iki döl verebildiği kanısına varılmıştır. Larvalar doğrudan meyvede zarar yapmakta, meyveyi delerek galeriler açmakta, meyvenin etli kısmını ve çekirdek evini yemekte ve meyve içerisinde beslenme artıkları bırakmaktadır. Tüm bu zararları sonucunda da meyve dökümlerine yol açmaktadır. Elma içkurdu zararına uğrayan meyvelerin kalite ve kantitesi düşmektedir. Güçlü ve Özbek (1995), Erzurum'da elma ağaçlarında çiçek ve meyvedeki zararlılar üzerine yürüttükleri çalışma sonucunda *C. pomonella*'nın meyvelerde % 65 (40-80) oranında kurtlanmaya sebep olduğunu ifade etmişlerdir. İşçi (2008), Elma içkurdu (*C. pomonella*)'nun erginlerinin Isparta ili elma bahçelerinde eşeyssel çekici tuzaklarda ilk yakalanışının üst üste iki yıl mayıs ayının ilk haftasında gerçekleştiğini tespit etmiştir. Özpinar ve ark. (2009), Çanakkale ilinde Elma içkurdunun yayılış alanı ve popülasyon gelişimi üzerinde yaptıkları bir çalışmada, ilk ergin çıkışının nisan ayında gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Mamay ve Yanık (2013), Şanlıurfa'da elma bahçelerinde *C. pomonella*'nın popülasyon gelişiminin belirlenmesi üzerine yapmış oldukları çalışma sonucunda zararlı erginlerinin Nisan ayının son haftasında tuzaklarda yakalandığını ve ergin uçuş periyodunun doğada yaklaşık 5 ay sürdüğünü, Eylül ayının üçüncü haftasına kadar erginlerin doğada bulduklarını ifade etmişlerdir. Ayrıca ergin popülasyonunun oluşturduğu tepe noktaları dikkate alındığında zararlının 3 döl verebildiğini de belirtmişlerdir. Bayraktar (2015), Karaman ili elma bahçelerinde *C. pomonella* erginlerinin ilk olarak Nisan ayının son haftasında tuzaklarda yakalandığını ve son erginlerin ise Ağustos ayının ikinci haftasında eşeyssel çekici tuzaklarda yakalandığını tespit etmiştir. Kaplan ve Bayram (2019), Bingöl ili elma bahçelerinde Elma içkurdunun popülasyon gelişimi ve kısa biyolojisi üzerine yapmış oldukları çalışma sonucunda zararlı erginlerinin eşeyssel çekici tuzaklarda ilk olarak Haziran ayının ilk haftasında yakalandığını, ergin uçuş periyodunun doğada 3.5 ay kadar sürdüğünü ve tuzakta son erginlerin Eylül ayının ikinci haftasında yakalandığını ifade etmişlerdir. Araştırmacılar, ergin popülasyonunun oluşturduğu tepe noktalarını dikkate alarak zararlının Bingöl koşullarında 2 döl verebildiğini de belirtmişlerdir. Ayrıca Elma Entegre Mücadele Teknik Talimatı (Anonim 2011)'na göre ilkbaharda ergin çıkışlarının genellikle mayıs ayında (bazı yıllar Nisan ayı ortalarında) başladığı ve temmuz ortalarına kadar devam ettiği ifade edilmektedir.

Elma bahçelerinde çalışma süresince en yaygın ve yoğun olarak tespit edilen yaprakbiti türü olan Elma yeşil yaprakbiti (*A. pomi*)'nin, Erzincan ilinde vejetasyon dönemi olan Mayıs-Ekim ayları boyunca doğada görüldüğü saptanmıştır. Zararlının özellikle elma ağaçlarının uç sürgünlerinde ve taze yaprakların alt yüzeylerinde yoğun koloniler oluşturduğu, buralarda beslenerek ağacın zayıflamasına yol açtığı tespit edilmiştir. Alaserhat (2015), Elma yeşil yaprakbitinin, Erzincan ve Gümüşhane illerinde Mayıs-Ekim aylarında konukçuları olan başta elma (*Malus communis* L.) olmak üzere, armut (*Pyrus communis* L.) ve ayva (*Cydonia oblonga* Miller) ağaçları üzerinde bulunduğunu ifade etmiştir. Bazı araştırmacılar tarafından *A. pomi*'nin, elma yetişen bölgelerde yaygın olarak bulunduğu, genellikle genç fidanlarda zarar yaptığı, sürgünlerin uç kısımlarında ve taze yaprakların alt yüzeylerinde beslendikleri, zararlının bulunduğu yapraklarda enine, hafifçe kıvrılmalara yol açtığı ve popülasyonun yoğun olduğu fidanlarda gelişmenin durduğu bildirilmektedir (Tuatay, 1993; Blackman ve Eastop, 1994; Toros ve ark., 2002). Ayrıca Elma yeşil yaprakbitinin, Lahana siyah halkalı leke (Cabbage black ring spot) ve soğan sarı cücelik (Onion yellow dwarf) virüslerini nonpersistent yolla naklettiği de belirtilmiştir (Kennedy et al., 1962).

İki noktalı kırmızı örümcek (*T. urticae*) ergin ve nimfleri elma bahçelerinde, Mayıs ayının son haftasından itibaren yapraklarda ilk olarak görülmüş, sıcaklıkların yükseldiği Temmuz ayında popülasyonu yükselmiş ve önemli bir zararlı olarak belirlenmiştir. Kırmızı örümcekler, elma ağaçlarının yapraklarında bitki özsuyunu emerek, yapraktaki klorofillerin parçalanmasına ve dolayısıyla fotosentezin engellenmesine yol açarak zarar oluştururlar. Bu beslenme sonucunda ağacın yapraklarında önce beyaz, sonra sarı ve daha sonra kahverengi lekeler oluşur. Bu lekeler birleşerek yaprağın kuruyup dökülmesine, meyvelerin güneş yanıklığına maruz kalmasına yanı sıra ürün kaybına neden olur. Bozbek ve Gökçe (2000), Doğu Anadolu Bölgesinde Elma Bahçelerinde Entegre Mücadele kapsamında yürüttükleri çalışma sonucunda *T. urticae*'nin, Mayıs ayının son haftasından itibaren elma yapraklarında görüldüğünü ve Temmuz ayında popülasyonun eşik seviyesini (8-10 adet/yaprak) geçtiğini ve ilaçlama için gereken yoğunluğa ulaştığını belirtmişlerdir. Kaplan (2019), Diyarbakır ili kiraz bahçelerinde İki noktalı kırmızı örümcek (*T. urticae*) erginlerinin iklim koşullarına bağlı olarak nisan ayının ikinci veya üçüncü haftasında yapraklarda ilk olarak görüldüğünü ve önemli bir zararlı olduğunu ifade etmiştir. Kaplan ve Yücel (2014), Elazığ ili çilek alanlarında kırmızı örümceklerin yaygınlık ve yoğunluk açısından önemli bir zararlı olduğunu bildirmişlerdir.

Elma bahçelerinde çiçeklenmenin başlamasıyla Baklazınnı (*T. hirta*) erginleri, iklim koşullarına bağlı olarak mayıs ayının ikinci haftasından itibaren içerisinde su olan mavi leğen tuzaklarda görülmüş, mayıs ayının üçüncü haftasında ergin sayısı en yüksek düzeye çıkmış ve son olarak mayıs ayının son haftasına kadar erginler tuzaklarda görülmüştür. Bu zararlı doğrudan çiçeklerde beslenerek zarar oluşturmaktadır. Erden (1988), Erzincan bölgesi (Erzincan, Sivas, Gümüşhane, Tunceli-Pertek, Erzurum-İspir ve Kars-Kağızman) yumuşak çekirdekli meyve ağaçlarında yapmış olduğu çalışma sonucunda tespit ettiği zararlı türlerden olan *T. hirta*'nın, önemli zararlılardan olduğunu ve Erzincan ilinde elma plantasyonlarında çiçek döneminde yoğun olarak bulunduğunu belirtmiştir.

Ayrıca zararlının polifag olduğunu, erginlerinin taş ve yumuşak çekirdekli meyve ağaçlarında çiçekleri yemek suretiyle zararlı olduğunu saptamıştır. Çınar ve ark., (2004) *T. hirta*'nın kirazlarla beslendiğini, Ulusoy ve ark. (1999) bu türün kirazlar için ekonomik olduğunu bildirmiştir. Kaplan (2019), Diyarbakır ili kiraz bahçelerinde *T. hirta* erginlerinin doğrudan çiçeklerde beslenerek zarar oluşturduğunu, kiraz bahçelerinde çiçeklenmenin başlamasıyla birlikte nisan ayının ilk haftasında itibaren tuzaklarda görüldüğünü nisanın ortalarına doğru ergin sayısının en yüksek düzeye çıktığını ve son olarak mayıs ayının ilk haftasına kadar erginlerin tuzaklarda görüldüğünü ifade etmiştir.

Önemli zararlı türlerden bir diğeri olan Elma gözkurdu (*A. pomorum*), elmanın fenolojisine göre değişmekle birlikte Erzincan ilinde tomurcuk-çiçek dönemi olan nisan sonu-mayıs başı döneminde doğada yoğun olarak görülmüştür. Kışladığı yerlerden çıkan erginlerin elma ağaçlarının açmakta olan tomurcukları ile beslendiği ve daha sonra çiftleşen dişilerin yumurtalarını çiçek tomurcuklarına bıraktıkları saptanmıştır. Güçlü ve Özbek (1995), Erzurum ili elma ağaçlarında yürüttükleri çalışma sonucunda önemli düzeyde zarar yapan bir diğeri türün de elma gözkurdu *A. pomorum* olduğunu ve çiçek tomurcuklarındaki zararının ortalama %26 (20-30) oranında olduğunu tespit etmişlerdir. Araştırmacılar zarar görmüş taç yaprakların kırmızı-kahverengi renkte olduğu, zarar görmüş gözlerin biraz kabardıktan sonra açılmadığını saptamışlardır. Ayrıca bu gözlerin içerisine bakıldığında, göz kurdu larvası veya pupasının bulunduğunu da ifade etmişlerdir. Elma Entegre Mücadele Teknik Talimatı (Anonim 2011)'na göre zararlının kışı ağaç kabukları, yaprak altları veya toprağın yarık ve çatlaklarında geçirdiği, günlük ortalama sıcaklığın 10-11°C'yi bulduğu dönemlerde erginlerin çıkış yaptığı, Şubat 15'ten Mart ayı sonuna kadar erginlerin ağaçların açmakta olan tomurcuk, filiz ve sürgünleri ile beslendiği, bir dişinin 25 yumurta bıraktığı, larvaların 2-4 haftada gelişerek çiçek içerisinde pupa olduğu ve yılda 1 döl verdiği ifade edilmiştir. Ayrıca zararlının larvaları çiçek tomurcukları içerisinde beslenip geliştikleri için zarar gören çiçeklerin açılmadığı ve meyve bağlamadığı da belirtilmiştir.

#### 4. Sonuç

Erzincan ili elma ağaçlarında fitofag ve faydalı türler ile önemli bazı türlerin doğada görülme zamanı belirlemek amacıyla yürütülen bu çalışma sonucunda fitofag türlerden 25 böcek ve 1 akar ile genel predatör ve parazitoidlerden olan 21 faydalı böcek türü saptanmıştır.

Elma bahçelerinde saptanan zararlı türden en yoğun olarak Lepidoptera takımından *C. pomonella* başta olmak üzere 4 adet Tortricidae türü belirlenmiştir. Söz konusu türlerden olan ve elmanın ana zararlısı olan *C. pomonella*'nın erginleri Mayıs ayının ikinci haftasında itibaren elma ağaçlarında görülmüş olup ergin kelebeklerin elma bahçelerinde uçuş periyodu yaklaşık olarak 4 ay kadar sürmüştür. Çalışma süresince en yaygın ve yoğun olarak tespit edilen yaprakbiti türü olan Elma yeşil yaprakbiti (*A. pomi*), vejetasyonun dönemini içine alan Mayıs-Ekim ayları boyunca elma ağaçlarının uç sürgünlerinde ve taze yaprakların alt yüzeylerinde yoğun koloniler oluşturmuş ve beslenmiştir. *Tetranychus urticae*'nin ergin ve nimfleri Mayıs ayının son haftasından vejetasyon sonuna kadar olan dönemde elma bahçelerinde tespit edilmiş olup, yapraklarda bitki özsuyunu emerek zararlı olduğu belirlenmiştir. Baklazını olarak belirtilen *T. hirta* erginleri Mayıs ayının ikinci haftasından mayısın sonuna kadar olan çiçeklenme döneminde elma bahçelerinde bulunmuştur. Erzincan ili elma bahçelerinde bulunan önemli zararlı türlerden bir diğeri olan Elma gözkurdu (*A. pomorum*) ise tomurcuk-çiçek dönemi olan Nisan sonu-Mayıs başı döneminde yoğun olarak elma bahçelerinde görülmüştür.

Günümüzde insan sağlığının, çevrenin ve biyolojik çeşitliliğin korunması ön planda tutulmaktadır. Modern bir yaklaşımla, zararlı türlerle mücadelede tüm faktörlerin çevresiyle birlikte düşünülmesi gerekir. Elma bahçelerinde zararlılarla birlikte faydalı türlerinin de yaygın olduğu alanlarda uygulanacak mücadele yöntemlerinde geniş spektrumlu kimyasal ilaç ve gereksiz ilaçlamalardan kaçınılması önerilir. Çünkü biyolojik mücadele kapsamında, yararlı türler korunduğu ve etkinlikleri artırıldığı sürece entegre mücadele açısından önemli adımlar atılmış olacaktır. Neticede "Entegre mücadele" programlarının ilk basamağı mevcut faunanın belirlenmesidir. Diğer çalışmalar ancak bu aşamadan sonra yapılabilir.

Elma bahçelerindeki zararlı türler elma ağaçlarının sürgün, yaprak, tomurcuk, çiçek ve meyvelerinde beslenerek verim ve kaliteyi düşürmektedir. Meyve bahçelerinde zararlı türler ile mücadelede gelişmiş pestisit kullanımının artmasıyla canlılar arasında var olan doğal denge bozulacak, buda ileriki yıllarda zararlıların salgın yapma ihtimalini arttıracaktır. Nitekim elma bahçelerinde belirlenen zararlı türler ile mücadelede başarılı olmak için öncelikle doğada var olan faydalı türlerin belirlenmesi, korunması ve etkinliklerinin artırılması amacıyla ilaçlama zamanı ve sayısı yönünde elde edilmiş olan bilgiler elma üreticileri ile paylaşılacaktır. Böylece gereksiz ilaçlamaların önüne geçilerek ürünlerdeki kalite ve verim kaybı yanı sıra kalıntı nedeniyle tüketimde ve ihracatta sorun yaşanmayacak ve sağlıklı bir şekilde elma tüketilebilecektir.

#### Teşekkür

Çalışmalarında elde etmiş olduğum, Coccinellidae teşhisleri Prof. Dr. Nedim UYGUN (Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Adana), Chamaemyiidae ve Syrphidae teşhisleri Prof. Dr. Rüstem HAYAT (Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Antalya), Chrysopidae teşhisleri Prof. Dr. Ali SATAR (Dicle Üniversitesi Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Diyarbakır), Anthocoridae ve Miridae teşhisleri Dr. Gülten YAZICI (Zirai Mücadele Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Ankara), Lepidoptera teşhisleri Dr. Mustafa ÖZDEMİR (Zirai Mücadele Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Ankara), Dermaptera teşhisi Prof. Dr. Ali DEMİRSOY (Hacettepe Üniversitesi), Aphelinidae teşhisi Prof. Dr. Mikdat DOĞANLAR (Mustafa Kemal Üniversitesi, Bitki Koruma Bölümü) ve Braconidae teşhisleri Doç. Dr. Coşkun GÜÇLÜ (Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü) tarafından yapılmış olup, tüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü'ne teşekkürü bir borç bilirim.



## Kaynakça

- Alaserhat, (2015). Erzincan ve Gümüşhane İllerinde Yetiştirilen Ilıman İklim Meyve Türlerinde Bulunan Aphididae (Hemiptera) Türleri, Yoğunlukları, Doğal Düşmanları ve Sekonder Konukçularının Belirlenmesi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (yayınlanmamış), Erzurum, 320 s.
- Alaserhat, İ., Güçlü, Ş., (2016). Survey of Aphid Species (Hemiptera: Aphididae) and Their Associated Parasitoid And Predator Species on *Rosa* spp. in Turkey. Egyptian Journal of Biological Pest Control, 26 (4): 849-850.
- Alaserhat, İ., Canbay, A., (2017). Aphididae Species, Their Parasitoids, Predators, and Parasitism Rates on Pepper (*Capsicum annum* L.). Entomological News, 127 (1), 36-50.
- Alaserhat, İ., Kaplan, M., (2017). Ovacık (Tunceli) ilçesindeki Akasyalarda (*Robinia* spp.) Bulunan Zararlı ve Faydalı Böcek Türleri. Türkiye Entomoloji Bülteni, 7 (3): 21-28.
- Anonim, (2008). Zirai Mücadele Teknik Talimatları. Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, Cilt 3: 322 s.
- Anonim, (2011). Elma Entegre Mücadele Teknik Talimatı. Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, 188s.
- Anonymous, (2017). FAO (Food Agriculture Organization) (<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>) (Erişim Tarihi: 13.11.2019)
- Ayaz, T., Yücel, A., (2010). Elazığ İli Elma Alanlarında Zararlı ve Yararlı Arthropod Türlerinin Belirlenmesi Üzerine Araştırmalar. Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 14 (1): 9-16.
- Bayraktar, S.Y., (2015). Karaman İlinde Elma Bahçelerinde Elma İçkurdu İle Kimyasal Mücadelede Mücadele Zamanının Belirlenmesine Yönelik Çalışmalar. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (yayınlanmamış), Tekirdağ, 35 s.
- Blackman, R.L., Eastop, V.F., (1994). Aphids on The World's Trees: An Identification and information guide CAB International. Department of Entomology The Natural History Museum, 986+16 p, London, England.
- Bora, T., Karaca, İ., (1970). Kültür Bitkilerinde Hastalığın ve Zararın Ölçülmesi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Yardımcı Ders Kitabı, Yayın no:167, 43 s.
- Bozbek, Ö., Gökçe, A.Y., (2000). Doğu Anadolu Bölgesinde Elma Bahçelerinde Entegre Mücadele Araştırma, Uygulama ve Eğitim Projesi. Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Erzincan Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, No: 36, 45 s., Erzincan.
- Bozbek, Ö., Kütük, Y., Alıcı, H., Çakırbay, İ.F., Canbay, A., (2009). Erzincan'da Elma Pamuklubiti (*Eriosoma lanigerum* (Hausmann) (Hemiptera: Pemphigidae)'nin Yayılışı, Yoğunluğu, Parazitoit ve Predatörlerinin Tespiti. III. Bitki Koruma Kongresi, Van.
- Bozbek, Ö., (2012). Erzincan ilinde elma ağaçlarında görülen Coccoidea (Hemiptera) türleri ile bunların parazitoit ve predatörleri. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (yayınlanmamış), Erzurum, 60 s.
- Bulantekin, Ö., Kuşçu, A., (2017). Elmada bulunan fitokimyasallar ve diğer zengin bileşenlerin insan sağlığına yararları. Meyve Bilimi, 1: 213-218.
- Canbay, A., Tozlu, G., (2013). Erzincan ilinde elma ağaçlarında zarar yapan *Archips* (Lepidoptera: Tortricidae) türlerinin tespiti, popülasyon değişimleri ile önemli tür *Archips rosana* (L., 1758)'nin biyolojisi. Türkiye Entomoloji Dergisi, 37 (3): 305-318.
- Cranshaw, W., (2004). Biological Controls IX. Insect Predators. <http://highplainsippm.org>
- Çınar, M., Çimen, İ., Bolu, H., (2004). Elazığ ve Mardin İlleri Kiraz Ağaçlarında Zararlı Olan Türler, Doğal Düşmanları ve Önemlileri Üzerinde Gözlemler. Türkiye Entomoloji Dergisi, 28 (3): 213-220.
- Çiftçi, K., Türkyılmaz N., Kumaş, F. ve Özkan, A., (1985). Antalya İli Elma Bahçelerindeki Önemli Zararlılar ile Doğal Düşmanlarının Tespiti Üzerinde Ön Çalışmalar. Bitki Koruma Bülteni, 25 (1-2), 49-61.
- Çiftçi, K., Özkan, A., Türkyılmaz, N., (1995). Antalya İli Elma Zararlılarının Biyolojik Mücadele İmkânlarının Araştırılması. Bitki Koruma Bülteni, 35 (1-2): 45-61.
- Düzgüneş, Z., Toros, S., 1978. Ankara ili ve çevresinde elma ağaçlarında bulunan yaprakbiti türleri ve kısa biyolojileri üzerinde araştırmalar. Türkiye Bitki Koruma Dergisi, 2 (3): 151-175.
- Erden, F., (1988). Erzincan Bölgesi Yumuşak Çekirdekli Meyve Ağaçlarının Böcek Kökenli Zararlılarının Tanınmaları ve Önemlilerinin Zararlılık Durumları Üzerinde Araştırmalar. Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, Yayın no: 4, 96 s.
- Grigorov, S.P., (1974). Karantina na Restaniata. Zemizdat, Sofya, 346 pp.
- Güçlü, Ş., Özbek, H., (1995). Erzurum'da Elma Ağaçlarında Çiçek ve Meyvedeki Zararlılar Üzerinde Bazı Gözlemler. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 26 (2): 171-175.
- İren, Z., (1977). Önemli Meyve Zararlıları, Tanınmaları, Zararları, Yayılışları ve Mücadele Metodları. Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, 167s.
- İşçi, M., (2008). Elma İçkurdu (*Cydia pomonella* Lep.: Tortricidae)'nun Farklı Elma Çeşitlerindeki Zarar Oranlarının Belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi (Basılmamış), Konya.
- Kaplan, E., Bayram, Y., (2019). Bingöl İli Elma Bahçelerinde Elma İçkurdu [*Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae)]'nın popülasyon gelişimi ve kısa biyolojisi. Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 24 (2): 123-128.
- Kaplan, M., Bayhan, E., (2014). Mardin İli Bağ Alanlarında Thripslerle Birlikte bulunan Doğal Düşmanlar. Uluslararası Mezopotamya Tarım Kongresi, (22-25 Eylül 2014), 176 s., Diyarbakır.
- Kaplan, M., Yücel, A., (2014). Elazığ İli Çiçek Alanlarında Belirlenen Zararlı Böcek ve Akar Türleri, Meyve Bilimi Dergisi, 1 (2): 7-14.

- Kaplan, M., Özgen, İ., Ayaz, T., (2016). Mardin İli Zeytin Bahçelerinde Zeytin Pamuklubiti [*Euphyllura straminea* Loginova (Hemiptera: Psyllidae)]'nin Doğal Düşmanları ve Önemli Türlerin Popülasyon Değişimi. Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 20 (3): 175-182.
- Kaplan, M., (2019). Diyarbakır İli Bazı Kiraz Bahçelerinde Bulunan Zararlı ve Faydalı Böcek Türleri ile Bazı Önemli Zararlı Türlerin Doğada Görülme Zamanı. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 17: 283-289.
- Karaca, G., Karaca, I., Yardımcı, N., Demirözer, O., Aslan, B., Çulal Kiliç, H., (2010). Investigations on pests, diseases and present early warning system of apple orchards in Isparta, Turkey. African Journal of Biotechnology, 9 (6): 834-841.
- Karamürsel, D., (2009). Türkiye elma endüstrisine genel bir bakış. Tarım Türk Dergisi, (15): 13-14.
- Kaya, Ü., Öncüer, C., (1988). Laboratuvarında Üretilen *Chrysoperla carnea* (Steph.) (Neuroptera: Chrysopidae)'nın Biyolojisine Farklı İki Besinin Etkisi Üzerinde Bir Araştırma. Türkiye Entomoloji Dergisi, 12 (3): 151-159.
- Kennedy, J.S., Day, M.F., Eastop, V.F., (1962). A Conspectus of Aphids as Vector of Plant Viruses Commonwealth. Inst. Ent., 114 p, London, England.
- Kıroğlu, H., Aykaç, K.M., Ergüder, M.T., Çamlıdere, R., Kılıç, M., Çevik, T., (1992). Karadeniz Bölgesi Elma Bahçelerinde Entegre Savaş Olanakları Üzerine Çalışmalar. Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü Yayınları, Yayın no: 21-22, Ankara
- Küçükbalı, N., Karaca, İ., (2018). Elma Bahçelerinde Bazı Önemli Zararlılara Karşı Azadirachtin ve Kaolin Uygulamalarının Etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22 (2): 918-923.
- Mamay, M., Yanık, E., (2013). Şanlıurfa'da Elma Bahçelerinde Elma İçkurdu [*Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae)]'nun Popülasyon Gelişimi ve Farklı Metotlar Kullanılarak Bulaşıklık Oranının Belirlenmesi. Tarım Bilimleri Dergisi, 19: 113-120.
- Mdellel, L., Ben Halima Kamel, M., (2015). Apple Aphid's Species and Their Natural Enemies in Tunisian Orchards. Journal of New Sciences, 24 (4): 1108-1114.
- Öncüer, F., (1991). Türkiye Bitki Zararlısı Böceklerin Parazit ve Predatör Kataloğu. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 505, İzmir, 281s.
- Özbek, H., Güçlü, Ş., Hayat, R., Yıldırım, E., (1998). Meyve, Bağ ve Bazı Süs Bitkileri Zararlıları. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın no: 323, 357s, Erzurum
- Özdemir, Y., Özdemir, M., (2002). Orta Anadolu Bölgesinde *Archips* Türlerinde (Lep.:Tortricidae) Saptanan Ichneumonidae (Hym.) Türleri. Bitki Koruma Bülteni, 42 (1-4): 1-7.
- Özkan, A., (1986). Antalya ve Çevresi Yumuşak Çekirdekli Meyve Ağaclarının Coleoptera ve Heteroptera Takımlarına Ait Faydalı Böcek Türleri, Tanınmaları, Konukçulan ve Önemlilerinin Etkinlikleri Üzerinde Araştırmalar. Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Antalya Biyolojik Mücadele Araştırma Enstitüsü Yayınları, Yayın no: 5, Antalya
- Özpinar, A., Şahin, A.K., Polat, B., (2009). Çanakkale İlinde Elma İçkurdu [*Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae)]'nin Yayılış Alanı ve Popülasyon Gelişmesinin Belirlenmesi. Türkiye III. Bitki Koruma Kongresi Bildirileri (15-18 Temmuz 2009), 100 s., Van.
- Piekarska-Boniecka, H., Wilkaniec, B., Dolan'Ska-Niedbała, E., (2008). Parasitoids of Ichneumonidae Family (Hymenoptera, Apocrita) Limiting Abundance of Rose Tortrix Moth *Archips rosana* (L.) in Selected Orchards in Wielkopolska. Progress in Plant Protection, 48 (4): 1319-1322.
- Porcel, M., Andersson, G.K.S., Pålsson, J., Tassin, M., (2018). Organic Management in Apple Orchards: Higher Impacts on Biological Control than on Pollination. Journal of Applied Ecology, 55: 2779-2789.
- Toros, S., Uygun, N., Ulusoy, R., Satar, S., Özdemir, I., (2002). Doğu Akdeniz Bölgesi Aphidoidea Türleri. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, 108 s, Ankara.
- Tuatay, N., (1993). Türkiye Yaprakbitleri (Hemiptera: Aphididae) IV. Aphidinae: Aphidini (I. Kısım). Bitki Koruma Bülteni, 33 (3-4): 83-106.
- Ulusoy, M.R., Vatansver, G., Uygun, N., (1999). Ulukışla (Niğde) ve Pozantı (Adana) Yöresinde Kirazlarda Zararlı Olan Türler, Doğal Düşmanları ve Önemlileri Üzerindeki Gözlemler. Türkiye Entomoloji Dergisi, 23 (2): 111-120.
- Yaman, Y., Yorulmaz Salman, S., Ay, R., (2016). Isparta İli Elma Bahçelerinden Toplanan *Panonychus ulmi* Koch'nin Bazı Akarisitlere Karşı Duyarlılık ve Detoksifikasyon Enzim Düzeyleri. Tarım Bilimleri Dergisi, 22: 249-260.
- Yanar, D., Ecevit, O., (2005). Tokat İlinde Elma (*Malus communis* L.) Bahçelerinde Görülen Bitki Zararlısı ve Predatör Akar Türleri. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 20 (1): 18-23.
- Yardım, E., Atlıhan, R., Özgökçe, M.S., Kaydan; M.B., Özgen, İ., (2003). Elma Bahçelerinde Elma İçkurdu [*Cydia pomonella* (L.)] İçin Kitlesel Tuzaklama ve Kimyasal Mücadelenin Bazı Etkileri. Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi, 13 (1): 45-48.
- Yiğit, A., Uygun, N., (1982). Adana, İçel ve Kahramanmaraş İlleri Elma Bahçelerinde Zararlı ve Yararlı Faunanın Saptanması Üzerinde Çalışmalar. Bitki Koruma Bülteni, 22 (4): 163-178.
- Yoldaş, Z., (1994). İki Farklı Avla Beslenen *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae)'nın Biyolojisi Üzerinde Araştırmalar. Türkiye 3. Biyolojik Mücadele Kongresi Bildirileri (25-28 Ocak 1994), 375-380 s., İzmir.
- Zeki, C., Demir, T., Kılıç, M., Kural, İ., Çakır, O., Tokgönül, S., Hepdurgun, B., Çalı, S., Aydogdu, S., (1998). Elma Bahçelerinde Entegre Mücadele Teknik Talimatı. Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, 81 s.





# Geochemistry of the Volcanic Rocks of the Yüksekova Complex near Güneyköy (SE of Elazığ, E Turkey)

Melek Ural<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Fırat University, Engineering Faculty, Department of Geological Eng., Elazığ, Turkey (ORCID: 0000-0002-4174-6058)

(İlk Geliş Tarihi 2 Aralık 2019 ve Kabul Tarihi 31 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.653983)

**ATIF/REFERENCE:** Ural, M. (2019). Geochemistry of the Volcanic Rocks of the Yüksekova Complex near Güneyköy (SE of Elazığ, E Turkey). *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1125-1133.

## Abstract

Some of the volcanic products of the Yüksekova Complex crop out in the Güneyköy (SE Elazığ, E Turkey) area in the Southeast Anatolian Suture Belt. This study reports the whole rock geochemical data of the volcanics of the Upper Cretaceous Yüksekova Complex around Güneyköy. The volcanic rocks are burgundy and greenish in color. The rocks are massive or have distinct pillow structure. The volcanic rocks occasionally showing spilitization have basaltic composition and tholeiitic character. The rocks are mainly composed of plagioclases and to a lesser extent clinopyroxene and pseudomorphic olivine minerals. In thin-sections microlytic and hyalomicrolytic porphyritic textures, as well as spherulitic and amygdaloidal textures are common. The secondary minerals are calcite and epidote. In binary diagrams, the Zr, is considered as immobile and index element; show positive correlation with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, Nb, Y, Hf, whereas show negative correlation with CaO showing plagioclase, clinopyroxene, olivine and Fe-Ti oxide fractionation during the evolution of the volcanics. N-type mid-ocean ridge basalt-normalized trace element distributions of the rock samples indicate enrichment in large-ion lithophile elements (LILE) and Th, and negative anomalies in Ta, Nb, Ti and P elements. The chondrite normalized diagrams of the samples show an approximately parallel and straight trend (La<sub>N</sub>/Sm<sub>N</sub>: 0.93-2.13; La<sub>N</sub>/Lu<sub>N</sub>: 0.23-0.89), suggesting a similar source for the volcanic rocks. The geochemical implications such as negative Nb anomaly, depleted HFS element abundances and enriched LIL element pattern indicate the contribution of a subducting plate. As a result, the volcanites in the near of Güneyköy (Elazığ) are members of the Yüksekova Complex and were formed in an intra-oceanic arc environment within the Southern Branch of Neotethys.

**Keywords:** Güneyköy (SE Elazığ), Yüksekova Complex, Volcanic Rock, Geochemistry, Intra-Oceanic arc

## Güneyköy civarındaki (GD Elazığ, D Türkiye) Volkanik kayaçların (Yüksekova Karmaşığı) Jeokimyası

### Öz

Güneydoğu Anadolu Sütur Kuşağında, Yüksekova Karmaşığı birimine ait volkanik ürünlerin bir kısmı Güneyköy çevresinde yüzeylenmiştir. Bu çalışma, bu alandaki Üst Kretase yaşlı volkanik kayaçların tüm kayaç jeokimyasını ele alır. Bu volkanik kayaçlar bordo ve yeşilimsi renk tonlarındadır. Kayaçlar masif görünümlü ve yer yer de belirgin yastık yapısındadır. Yer yer spilitleşmeler gösteren volkanitler bazaltik bileşimli ve toleyitik karakterlidir. Bazik kayaçlar genel olarak, plajiyoklas, daha az oranda klinopiroksen ve psödömorf olivin minerallerinden oluşmaktadırlar. Kayaçlarda, mikrolitik, hiyalomikrolitik porfirik dokular yanında, amigdaloidal ve sferulitik dokular da yaygın olarak gözlenir. Kalsit ve epidot ikincil minerallerdir. İkili değişim diyagramlarında Zr elementi Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, Nb, Y, Hf ile pozitif, CaO ile ise negatif korelasyon göstermektedir ki, bu ilişkiler incelenen volkanik kayaçların evriminde plajiyoklas, klinopiroksen, olivin ve Fe-Ti oksit fraksiyonlanmasına işaret etmektedir. Kayaç örneklerinin N-tipi Okyanus Ortası Sırtı Bazaltına (N-MORB) normalize edilmiş iz element dağılımları; örneklerin LIL Elementler ve Th bakımından MORB a göre zenginleştiğini, Ta, Nb, Ti, P gibi elementler bakımından ise nisbeten fakirleştiğine işaret etmektedir. Örneklerin kondrite normalize

\* Corresponding Author: Fırat University, Engineering Faculty, Department of Geological Eng., Elazığ, Turkey (ORCID: 0000-0002-4174-6058)  
melekural@firat.edu.tr

edilmiş diyagramları ise kondrite göre paralel ve yaklaşık düz bir trend sergilemektedir ( $La_N/Sm_N$ : 0.93-2.13;  $La_N/Lu_N$ : 0.23-0.89) ki bu durum benzer kaynaktan türediklerine işaret eder. Negatif Nb anomalisiyle birlikte, tüketilmiş HFSE ve zenginleşmiş LIL element desenleri yitim katkısına işaret etmektedir. Sonuç olarak, Güneyköy (Elazığ) çevresindeki volkanik kayaç örnekleri bir okyanus içi yay ortamında oluşmuşlardır.

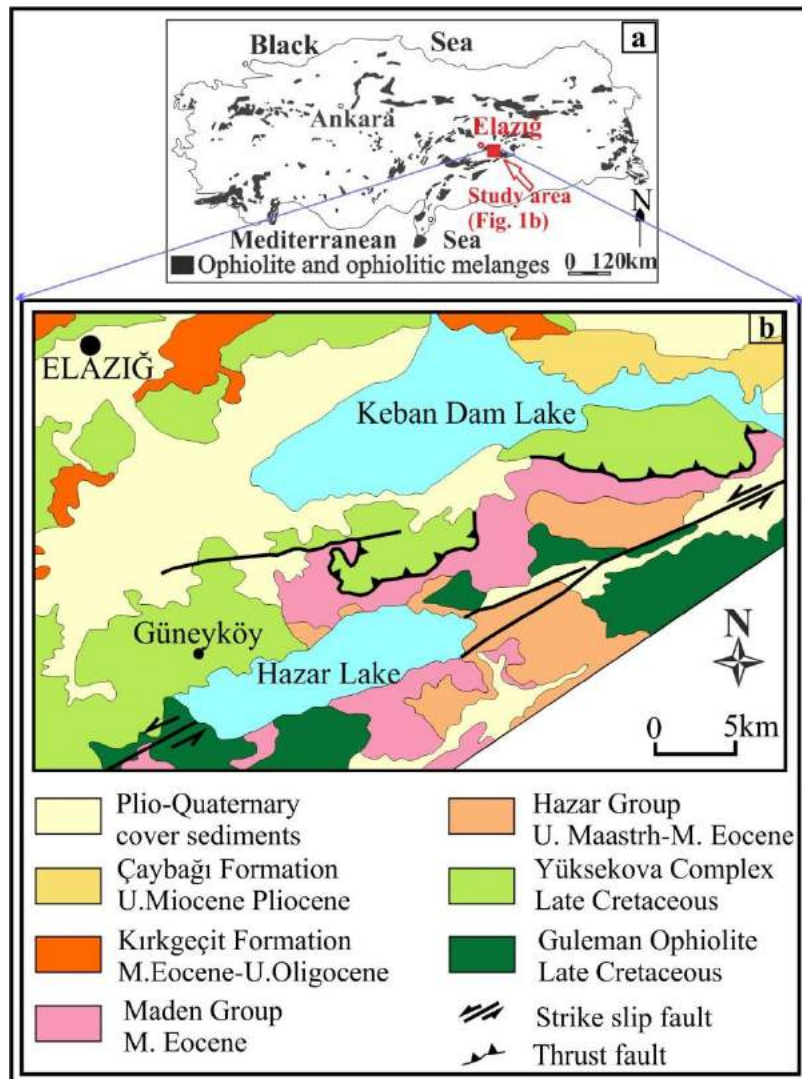
**Anahtar Kelimeler:** Güneyköy (GD Elazığ), Yüksekova Kompleksi, Volkanik Kayaç, Jeokimya, Okyanus içi yay

## 1. Introduction

The study area is approximately 25 km. southeast of the Elazığ city. In this area, volcanic rocks of the Yüksekova Complex, Hazar Group and Maden Complex are exposed (Figure 1a, 1b).

The typ locality of the Yüksekova Complex unit firstly studied by Perinçek (1979) is in the area of Yüksekova town, Hakkari city. The outcrops of the unit are widespread in the north of Hazar Lake and in the vicinity of Elazığ province (Akgül 1991, Akgül 1993; 2015; Hempton 1985; Hempton and Savcı 1982; Ural and Kürüm 2009; Kürüm et al. 2011). The unit is represented by oceanic sediments (red-greenish grey-light grey limestone, shale, sandstone) associated with volcanic (basalt, diabase, andesite) and volcanoclastic (tuff, agglomerate) rocks together with their intrusive equivalents (gabbro, diorite, granodiorite and granite,) and minor serpentinitized ultramafic rocks (Perinçek 1979). Overall, the Yüksekova Complex is Late Cretaceous in age (Ural 2012; Ural et al. 2014; Tekin et al. 2015; Ural and Sarı 2019; Ural and Kaya 2019) and is covered by the Eocene Simaki Formation of the Maden Complex and Gehroz Formation of the Hazar Group (Çelik 2003, Kaya 2004). The Maden Complex is the common cover of all pre-Eocene tectonic units including the Pütürge Massif and the Guleman Ophiolite in SE Anatolia (Altunbey and Sağiroğlu 1995, Ertürk 2016, Ertürk et al. 2018, Şaşmaz et al. 2014, Yılmaz 1993, Yılmaz et al. 1993).

This study is the first detailed geochemical one to determine the petrological features of the mafic volcanic rocks in the Güneyköy area and aims to contribute to the evolution of the Southern Neotethys.



**Figure 1. a)** The distribution of the ophiolitic mélanges of Turkey (modified after [Göncüoğlu 2014]) and the location map of the study area, **b)** The geological map of the study area (after Çelik 2013).

## 2. Material and Method

Twenty samples was collected from the basaltic volcanites of Upper Cretaceous Yüksekova Complex along Güneyköy around east of Elazığ in E Turkey (Figure 1a, 1b). Eight samples were selected considering alteration conditions and analysed for whole-rock major, trace and rare earth elements (REE) at ACME Analytical Laboratory (Canada). Major and trace element datas were determined by inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES), while REE contents were analyzed by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS).

## 3. Results

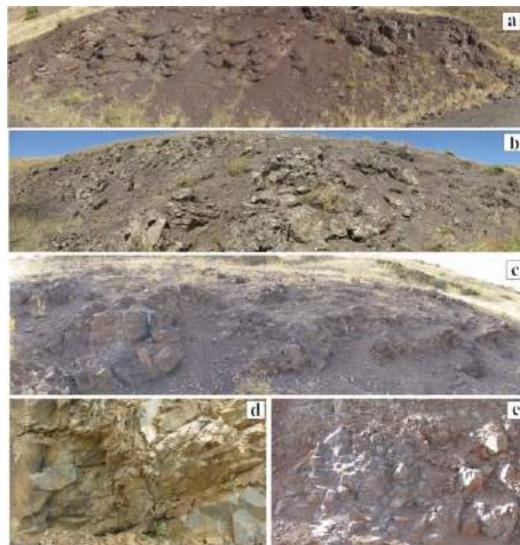
### 3.1. Geology and Stratigraphy

The Southeast Anatolian Suture Zone in Turkey represents the remnants of a Mesozoic ocean (Southern Branch of Neotethys) between the Arabian and Anatolian plates (Figure 1a) of the Alpine-Himalayan belt (Şengör and Yılmaz 1981; Göncüoğlu et al. 1997). It northerly borders the southeastern Anatolian shelf area (Yılmaz et al. 1993) and connects the Zagros belt of Iran in the east (Moghadam et al. 2009) to the Tauride belt at the west (Parlak et al. 2004; Robertson et al. 2006). Köküm and İnceöz (2018) mentioned the existence of successive deformation phases which were effective in 3 different periods, M. Eocene-M. Miocene, Late Miocene-Early Pliocene, and lastly Late Pliocene, respectively in the studied region.

The Pütürge Metamorphites at the south (Arabian plate margin), Keban-Malatya Metamorphites, Baskil Magmatics at the north (Anatolides) and their cover rocks of Upper Cretaceous-Early Tertiary age (Ural et al. 2014; 2015) are the major tectonic units in the Elazığ region. These pieces of continental crust represented by two crystalline units are separated by various rocks of ophiolitic mélange derived from different members of a Late Cretaceous oceanic lithosphere and a subduction-accretion prism (Tekin et al. 2015). The Maden complex was formed within a volcanosedimentary basin that developed on these units.

The Guleman Ophiolite is thrust over the Maden Complex, autochthon Arabian platform sediments and the Lice formation (Aktaş and Robertson 1984; Özkan and Öztunalı 1984, Kılıç 2009; Rizeli et al. 2016; Uysal et al. 2018). Sungurlu et al. (1985) grouped the rocks in the Elazığ-Hazar-Palu region as autochthonous, allochthonous, paraallochthonous and neotochthonous units and concluded that most of these rocks are transported to the Arabian plate to the south.

The Yüksekova Complex which is a Late Cretaceous volcanosedimentary unit (Perinçek 1979) overlies the mantle cumulate rocks of the Guleman Ophiolites (e.g. harzburgite, dunite, and lherzolite) with a tectonic contact. The mafic volcanic and subvolcanic rocks are characterized by the oceanic crustal products of the Late Cretaceous Yüksekova Complex (Ural et al. 2015; Ural et al. 2019). The unit is unconformably overlain by the Upper Maastrichtian–Paleocene sediments of the Hazar Group. Middle Eocene volcanoclastic rocks of the Maden Group unconformably set above these units. However, Çelik (2003) stated that the Maden Complex conformably overlies the Hazar Group but overthrust by the Yüksekova Complex (Figure 1b). In the Güneyköy area the Yüksekova Complex has been divided into three northerly dipping units that are represented by a series of imbricate thrust faults (Hempton and Savcı 1982, Yazgan 1984). The southernmost first unit is composed of basaltic pillow lavas, diabase and metagabbros whilst the second units consists of lava flows, volcanogenic sediments, agglomerates and basaltic-andesitic pillow lavas (Figure 2). The northernmost third unit in the upper part of the complex is represented by basaltic pillow lavas and volcanoclastic sediments.



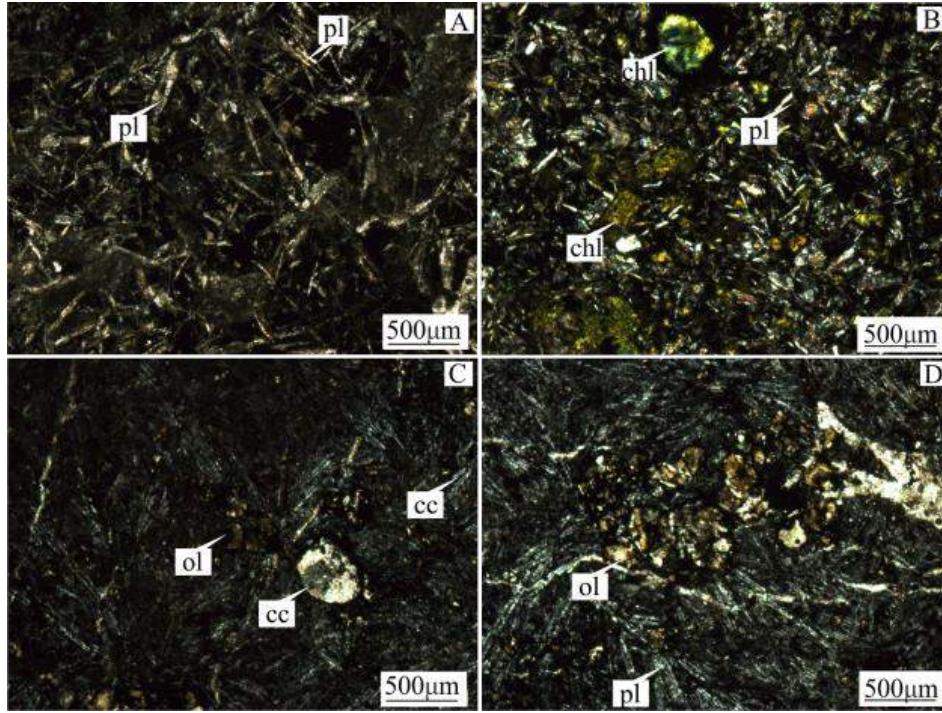
**Figure 2.** Field view of volcanic rocks in the study area, **a)** Bordeaux-colored pillow basalts, **b)** Tabular-shaped volcanic lavas, **c)** Bordeaux-colored volcanics and mudstone alteration, **d)** Green colored massive lavas, **e)** Breccia-like volcanic rocks near Güneyköy.



### 3.2. Petrography and Geochemistry

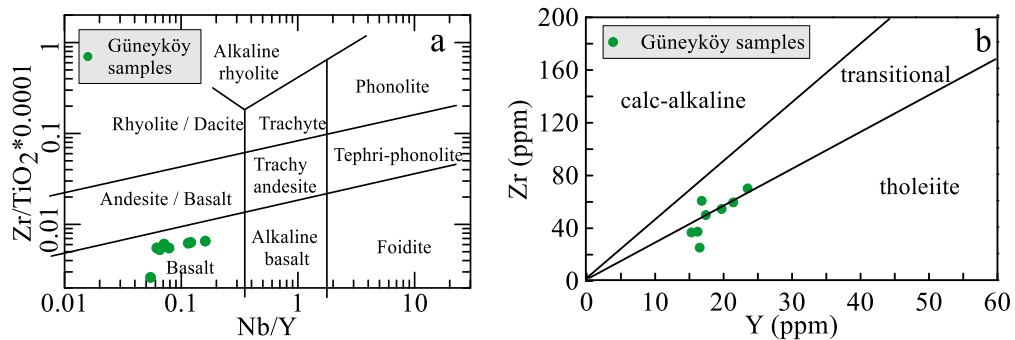
The volcanites of the Yüksekova Complex in the study area have relatively extensive outcrops. They consists of burgundy, green and gray colored massive lavas and dykes. Greenish gray color is predominant in basalts showing spilitization in places and pillow structures are also evident.

The basaltic rocks are dominant in the study area. The rocks are mainly composed of plagioclases and to a lesser extent clinopyroxene and pseudomorph olivine minerals (Figure 3). In thin-sections microlytic and hyalomicrolytic porphyritic textures, as well as spherulitic and amygdaloidal textures are common. Alterations of seritization and carbonation type, especially chloritization, are observed in rocks (Figure 3).



**Figure 3.** The microphotos of the studied rocks in the Güneyköy province (SE Elazığ, eastern Turkey); **a)** Variolitic textured basalt, **b)** The hyalo-microlithic porphyritic basalts; **c)** Amygdaloidal basalt, **d)** Glomeroporphyritic basalt. Abb.: pl: plagioclase, ol: olivine, chl: chlorite, cc: calcite.

The whole rock datas of the studied rocks are presented in Table 1. The volcanic rocks have basaltic composition and tholeiitic character (Figure 4a, b). In binary diagrams, the Zr, is considered as immobile and index element; show positive correlation with  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ , Nb, Y, Hf, whereas show negative correlation with CaO (Figure 5).



**Figure 4.** The distributions of the rocks in **a)** Nb/Y versus  $Zr/TiO_2 * 0.0001$  diagram (Winchester and Floyd 1977), **b)** Zr versus Y diagram (Barrett and MacLean 1997; Ross and Bedard 2009).

**Table 1.** The major (%), trace (ppm) and rare earth element (ppm) analysis datas of the studied rocks.

Sample	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8
<b>SiO<sub>2</sub></b>	44.96	45.01	45.85	44.35	45.86	46.01	48.75	45.79
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	14.53	16.24	8.25	12.16	14.47	15.77	15.43	12.81
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	8.39	9.00	9.09	9.36	9.00	13.75	8.08	7.44
<b>MgO</b>	5.04	7.14	5.49	5.63	6.90	5.22	6.70	5.50
<b>CaO</b>	12.60	11.13	24.20	18.70	14.78	11.01	8.77	12.85
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	3.53	3.36	1.57	3.20	2.99	3.55	5.29	5.20
<b>K<sub>2</sub>O</b>	1.40	0.58	0.10	0.50	0.29	1.08	0.26	0.23
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0.93	1.13	0.98	0.69	0.67	1.14	0.89	0.80
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0.11	0.10	<0.01	0.08	0.11	0.11	0.11	0.11
<b>MnO</b>	0.18	0.14	0.13	0.15	0.17	0.19	0.12	0.11
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0.08	0.05	0.06	0.21	0.06	0.12	0.03	0.04
<b>Total</b>	99.94	99.80	99.79	99.83	99.79	99.80	99.75	99.77
<b>Ba</b>	69	31	15	109	25	65	47	73
<b>Hf</b>	1.8	1.9	0.9	1.0	1.2	1.7	1.6	1.5
<b>Nb</b>	2.7	2.7	0.9	1.0	1.2	1.4	1.4	2.1
<b>Rb</b>	15.5	6.0	1.6	8.5	4.9	13.6	2.1	3.0
<b>Sr</b>	191.2	253.4	243.7	227.5	306.5	231.0	411.1	460.4
<b>Th</b>	0.3	0.2	0.3	0.1	0.4	0.1	0.3	0.3
<b>V</b>	188	219	361	175	253	225	256	207
<b>Zr</b>	60.8	70.2	25.3	37.4	36.8	59.6	54.6	50.0
<b>Y</b>	16.8	23.5	16.5	16.2	15.3	21.4	19.7	17.4
<b>La</b>	4.0	3.4	1.8	2.1	3.0	2.2	3.1	3.9
<b>Ce</b>	10.6	9.4	4.9	4.8	7.7	7.1	8.3	9.4
<b>Pr</b>	1.61	1.53	0.70	0.86	1.15	1.30	1.35	1.50
<b>Nd</b>	7.7	7.8	4.8	4.7	5.2	7.0	7.2	7.9
<b>Sm</b>	2.16	2.54	1.61	1.57	1.64	2.36	2.19	2.05
<b>Eu</b>	0.86	1.03	0.67	0.64	0.63	1.01	0.87	0.80
<b>Gd</b>	2.53	3.28	2.26	2.00	2.19	3.01	2.92	2.64
<b>Tb</b>	0.52	0.64	0.45	0.42	0.40	0.59	0.54	0.53
<b>Dy</b>	3.16	4.32	2.66	2.70	2.63	3.70	3.19	2.82
<b>Ho</b>	0.66	0.87	0.63	0.56	0.55	0.81	0.70	0.64
<b>Er</b>	1.82	2.63	1.83	1.66	1.63	2.32	1.97	1.76
<b>Tm</b>	0.29	0.39	0.30	0.27	0.25	0.37	0.30	0.31
<b>Yb</b>	1.69	2.31	1.72	1.58	1.63	2.11	1.89	1.73
<b>Lu</b>	0.25	0.37	0.29	0.24	0.26	0.34	0.30	0.28



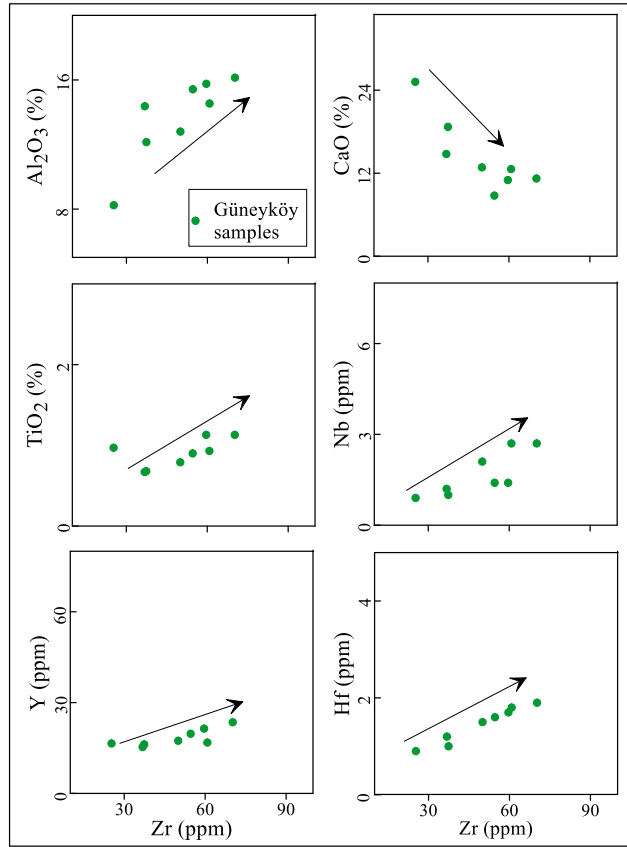


Figure 5. Binary variation diagrams of Zr versus selected elements.

According to N-type Mid-Ocean Ridge Basalt (MORB) normalized trace element distributions of rock samples (Figure 6a); 1) LIL elements (Sr, K, Rb, Ba and Th) are enriched according to HFS elements (Ta, Nb, Hf, Zr, Y, Ti), 2) HFS elements are parallel to MORB line but relatively poorer than MORB. Also, the samples were consumed in terms of Nb. The chondrite normalized rare earth element distributions of the rock samples ( $La_N / Sm_N$ : 0.93-2.13;  $La_N / Lu_N$ : 0.23-0.89) show that they are parallel to each other (Figure 6b). They have high Th/Yb ratios based on the plot of Nb/Yb vs. Th/Yb diagram (Pearce 2008) (Figure 7). They appear to be enriched a little more than N-MORB.

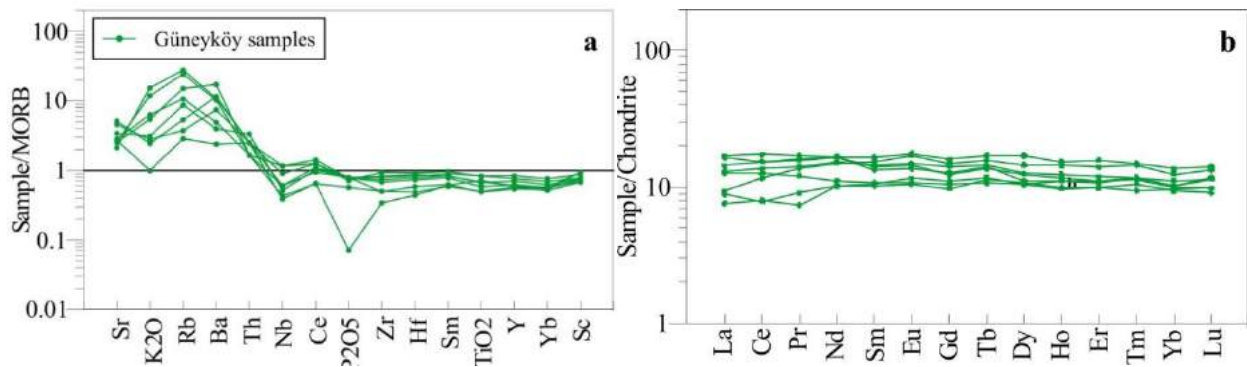


Figure 6. a) N-MORB and b) Chondrite-normalized spider diagrams for the rocks. Normalization values for N-MORB and Chondrite are taken from Sun and McDonough (1989).

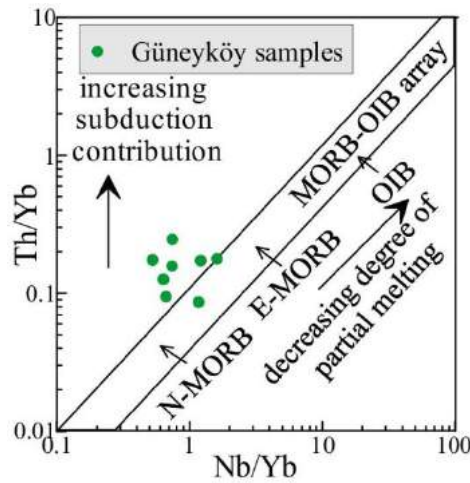


Figure 7. Nb/Yb vs. Th/Yb diagram (Pearce 2008) for the rocks.

#### 4. Discussion and Conclusion

The volcanic units of the Yüksekova Complex cropping out in the Güneyköy (SE of Elazığ, E Turkey) area in Southeast Anatolia. The Yüksekova Complex is covered by Simaki Formation (Maden Complex) and Gehroz Formation (Hazar Group). This study reports the whole rock geochemical data of the Late Cretaceous basaltic volcanics. The rocks are massive in nature and display distinct pillow structures. The volcanics, which show spilitization in places, are basaltic in composition. The basaltic rocks are generally composed of plagioclase and pseudomorphosed olivine minerals. Hyalomicrolytic porphyritic, amygdaloidal and spherulitic textures are common. Calcite, chlorite and epidote are secondary minerals in the rocks.

The studied volcanic rocks have tholeiitic character. In binary plots,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , Y, Nb, Hf and Th show positive correlation, whereas CaO, MgO,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  and Sc show negative correlation with Zr content of the rocks, suggesting significant plagioclase, clinopyroxene, olivine and Fe-Ti oxide fractionation during the evolution of this volcanics. N-type mid-ocean ridge basalt-normalized trace element distributions of the studied rocks indicate enrichment in large-ion lithophile element (LILE) and Th, and negative anomalies in Ta, Nb, Ti and P elements. This may possibly indicate that the previous subduction event(s) together with the contributions of oceanic crust had played an important role in the magma genesis. The chondrite normalized diagrams of the rock samples show a parallel and approximately straight trend, suggesting a similar source for the volcanics.

The geochemical implications such as negative Nb anomaly, depleted HFS element abundances and enriched LIL element pattern indicate the contribution of subducting plate. As a result, the volcanic rock samples in the vicinity of Güneyköy (Elazığ) were formed in an intra-oceanic arc environment.

#### Acknowledgement

This study was financially supported in part by Fırat University (FUBAP-MF.17.16) project. Prof. Dr. M. C. Goncuoglu is gratefully acknowledged for his comments and suggestions on the manuscript. I also thank the referees for their constructive criticisms and useful suggestions.

#### References

- Akgül, M. (1991). Petrographic and Petrological Properties of Baskil Granitoid. *Geosound*, 18, 67 - 78.
- Akgül, B. (1993). Petrographical and Petrological Features of Magmatic Rocks in the Vicinity of Piran Village (Keban). *Fırat University, Graduate School of Science and Technology*, Ph.D Thesis, 128p.
- Akgül, B. (2015). Geochemical associations between fluorite mineralization and A-type shoshonitic magmatism in the Keban–Elazığ area, East Anatolia, Turkey. *Journal of African Earth Sciences*, 111, 222-230.
- Altunbey, M., & Sağıroğlu A. (1995). Properties and origins of Koçkale-Elazığ manganese mineralizations. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 117, 139-148.
- Barrett, T.J., & MacLean, W.H. (1999). Volcanic sequences, litho-geochemistry, and hydrothermal alteration in some bimodal volcanic-associated massive sulfide systems. *Reviews in Economic Geology*, 8, 101–113.
- Çelik, H. (2003). Stratigraphic and Tectonic Features of Vicinity of Mastar Mountain (SE of Elazığ). *Fırat University, Graduate School of Science and Technology*, Ph.D Thesis, 95p.

- Çelik, H. (2013). The Effects of Linear Coarse-Grained Slope Channel Bodies on the Orientations of Fold Developments: A Case Study from the Middle Eocene-Lower Oligocene Kırkgeçit Formation, Elazığ, eastern Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 22(2), 320-338.
- Ertürk, M.A. (2016). Maden Complex (East Taurus-Turkey) Petrological Features. Fırat University, Graduate School of Science and Technology, Ph.D Thesis, 130p.
- Ertürk, M.A., Beyarslan, M., Chung, S.L., & Lin, T.H. (2018). Eocene magmatism (Maden Complex) in the Southeast Anatolian orogenic belt: Magma genesis and tectonic implications, *Geoscience Frontiers*, 9(6), 1829-1847.
- Göncüoğlu, M.C. (2014). Comments on a single versus multiarmed Southern Neotethys in SE Turkey and Iran. *3rd Intern. Symp. of IGCP 589 Development of the Asian Tethyan realm. Abstr. and Proceed.*, 89-95.
- Göncüoğlu, M.C., Dirik K., & Kozlu H. (1997). General characteristics of pre-Alpine and Alpine Terranes in Turkey: Explanatory notes to the terrane map of Turkey. *Ann. Géol. Pays Hellén.*, 37, 515-536.
- Hempton, M.R. (1985). Structure and deformation history of the Bitlis suture near Lake Hazar, southeastern Turkey. *Geological Society of American Bulletin*, 96, 233-243.
- Hempton, M. R., & Savcı, G. (1982). Petrological and Structural Features of Elazığ Volcanic Complex. *Geological Bulletin of Turkey*, 25(2), 143-151.
- Kaya, A. (2004). Geology of Gezin (Maden-Elazığ) and Surrounding Area. *Journal of Engineering Sciences*, 10(1) 41-50.
- Kılıç, A.D. (2009). Petrographical and geochemical properties of plagiogranites and gabbros in Guleman ophiolite. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 139, 33-49.
- Köküm, M., & Inceöz, M. (2018). Structural analysis of the northern part of the East Anatolian Fault System. *Journal of Structural Geology*, 114, 55-63.
- Kürüm, S., Akgül, B., Önal, A. Ö., Boztuğ, D., Harlavan, Y., & Ural, M. (2011). An Example for Arc-Type Granitoids along Collisional Zones: The Pertek Granitoid, Taurus Orogenic Belt, Turkey. *International Journal of Geosciences*, 2(03), 214.
- Moghadam, H. S. Whitechurch, H., Rahgoshay, M., & Monsef, I. (2009). Significance of Nain-Baft ophiolitic belt (Iran): Short-lived, transtensional Cretaceous back-arc oceanic basins over the Tethyan subduction zone. *Comptes Rendus Geoscience*, 341(12), 1016-1028.
- Özkan, Y.Z., & Öztunalı, O. (1984). Petrology of the magmatic rocks of Guleman ophiolite. Tekeli, O. ve Göncüoğlu, M.C. (eds.), *Geology of the Taurus Belt, Proceedings*, 285-293.
- Parlak, O., Höck, V., Kozlu, H., & Delaloye, M. (2004). Oceanic crust generation in an island arc tectonic setting, SE Anatolian orogenic belt. *Geological Magazine*, 141, 583-603.
- Pearce, J.A. (2008). Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust, *Lithos*, 100, 14-48.
- Perincek, D. (1979). The geology of Hazro-Korudağ-Çüngüş-Maden-Ergani-Hazar-Elazığ-Malatya Area, Guide Book, *The Geological Society of Turkey*, 33.
- Rizeli, M.E., Beyarslan, M., Wang, K.L., & Bingöl, A.F. (2016). Mineral chemistry and petrology of mantle peridotites from the Guleman ophiolite (SE Anatolia, Turkey): Evidence of a forearc setting. *Journal of African Earth Sciences*, 123, 392-402.
- Robertson, A.H., Ustaömer, T., Parlak, O., Ünlügenç, U.C., Taşlı, K., & Inan, N. (2006). The Berit transect of the Tauride thrust belt, S Turkey: Late Cretaceous – Early Cenozoic accretionary/collisional processes related to closure of the Southern Neotethys. *Journal of Asian Earth Sciences*, 27 (1), 108-145.
- Ross, P.S., & Bedard, J.H., 2009. Magmatic affinity of modern and ancient subalkaline volcanic rocks determined from trace-element discriminant diagrams. *Canadian Journal of Earth Science*, 46, 823-839.
- Sun, S.S., & McDonough, W.F. (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes. In: Magmatism in the ocean basins, Saunders, A.D. and Norry, M. J. (Eds.), *Geological Society of London*, 42, 313-345.
- Sungurlu O., Perincek D., Kurt G., Tuna E., Dülger S., Celikdemir E., & Naz H. (1985). Geology of the Elazığ-Hazar-Palu area. *Bull. Turk. Ass. Petrol. Geol.*, 29, 83-191.
- Şaşmaz, A., Türkyılmaz, B., Öztürk, N., Yavuz, F., & Kumral, M. (2014). Geology and geochemistry of Middle Eocene Maden complex ferromanganese deposits from the Elazığ–Malatya region, eastern Turkey. *Ore Geology Reviews*, 56, 352-372.
- Şengör, A.M.C., & Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach.. *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Tekin, U.K. Ural, M., Göncüoğlu, M. C. Arslan, M., & Kürüm, S. (2015). Upper Cretaceous Radiolarian ages from an arc–back-arc within the Yüksekova Complex in the southern Neotethys mélange, SE Turkey. *Comptes Rendus Palevol*, 14(2), 73-84.
- Ural, M. (2012). Petrochemistry, petrology and age of the basic volcanites of the Yüksekova Complex around Elazığ and Malatya, *Fırat University, Graduate School of Science and Technology*, Ph.D Thesis, 174p.
- Ural, M., & Kürüm, S. (2009). Microscopic and Diffractometric Studies Inferred from Skarn Zonations Between the Keban Metamorphites and Elazığ Magmatites, Around Elazığ. *Turkish Journal of Science & Technology*, 4(2), 87-102.
- Ural, M., Göncüoğlu, M.C., Arslan, M., Tekin, U.K., & Kürüm, S. (2014). Petrological and paleontological evidence for generation of an arc-back arc system within the closing southern branch of Neotethys during the Late Cretaceous. *Bull. Shk. Gjeol., Special Issue 2*, 51-54.
- Ural, M., Arslan, M., Göncüoğlu, M. C., Tekin, U. K. & Kürüm, S. (2015). Late Cretaceous arc and back-arc formation within the Southern Neotethys: whole-rock, trace element and Sr-Nd-Pb isotopic data from basaltic rocks of the Yüksekova Complex (Malatya-Elazığ, SE Turkey). *Ofioliti*, 40 (1).
- Ural, M., & Sarı, B. (2019). New Planktonic Foraminifera Data from the Upper Cretaceous Pelagic Limestones of the Yüksekova Complex in the Maden Area (Southeast of Elazığ, Eastern Turkey). In: IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, 362(1), p.012121.

- Ural, M., & Kaya Sarı, M. (2019). Paleogeographic and Age Findings on Planktonic Foraminiferal Assemblages of Yüksekova Complex in the Northeast of Elazığ (Eastern Turkey). In: IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, 362(1), p.012146.
- Ural, M., Deniz, K., & Sayit, K. (2019). Mafic Volcanic and Subvolcanic Rocks from the Yüksekova Complex in the İçme-Kesikköprü Province (East of Elazığ, Eastern Turkey): Whole-Rock Geochemistry and Confocal Raman Spectroscopy Characterization. In: IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, 362(1), p.012122.
- Uysal, I., Kapsiotis A., Akmaz, M., Saka, S., & Seitz, M. (2018). The Guleman ophiolitic chromitites (SE Turkey) and their link to a compositionally evolving mantle source during subduction initiation. *Ore Geology Reviews*, 93, 98-113.
- Winchester, J.A., & Floyd, P.A. (1977). Geochemical Discrimination of Different Magma Series and Their Differentiation Product Using Immobile Elements. *Chemical Geology*, 20, 325-343.
- Yazgan, E. (1984). Geodynamic evolution of the eastern Taurus Region (Malatya-Elazığ area, Turkey). In: Tekeli, O., Göncüoğlu, M.C. (Eds.): *Geology of the Taurus Belt. Proc. of Int. Sym., Publ. of Min. Res. and Expl.* Inst. of Turkey, Ankara, 199-208.
- Yılmaz, Y. (1993). New evidence and model evolution of the southeast anatolian orogen. *Geological Society of America Bulletin*, 105, 251-271.
- Yılmaz, Y., Yiğitbaş, E., & Genç, S. (1993). Ophiolitic and metamorphic assemblages of southeast Anatolia and their significance in the geological evolution of the orogenic belt. *Tectonics*, 12(5), 1280-1297.



# Ti6Al4V Malzemesinin Frezelenmesi'nde Oluşan Takım Titreşiminin MEMS İvme Sensörü ile İzlenmesi

Okan Oral<sup>1\*</sup>, Oğuz Çolak<sup>2</sup>, Mustafa Bayhan<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6302-4574)

<sup>2</sup> Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1777-9300)

<sup>3</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1777-9300)

(İlk Geliş Tarihi 2 Aralık 2019 ve Kabul Tarihi 31 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.654256)

**ATIF/REFERENCE:** Oral, O., Çolak, O. & Bayhan, M. (2019). Ti6Al4V Malzemesinin Frezelenmesi'nde Oluşan Takım Titreşiminin MEMS İvme Sensörü ile İzlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1134-1144.

## Öz

Talaşlı imalatın hedefi maksimum takım ömrü, kısa üretim zamanı ve az maliyetle, iyi kalitede yüksek üretim miktarı elde etmektir. Bu hedefe ulaşmak için hata tespit ve tahmini büyük öneme sahiptir. Hata tespiti ve tahmini konusunda günümüzde mevcut olan metotların en iyilerinden birisi ivmeölçerler kullanılarak algılanan titreşimin analizidir. Frezeleme anında oluşan mekanik titreşimler, işlenen parçanın yüzey kalitesinin bozulmasına sebep olmaktadır. Bu titreşimleri algılamamanın eşzamanlı yapılması, hata oluşmadan önlemlerin alınabilmesine olanak sağlayacaktır. Yapılan bu çalışmada yenilikçi bir teknoloji kullanılarak, frezeleme esnasında takım ucunda meydana gelen titreşimlerin eş zamanlı izlenmesinde kullanılacak bir akıllı takım sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem; kesici takım ucundaki titreşimi algılamada kullanılan Mikro Elektro-Mekanik Sistem (MEMS) titreşim sensörü, kablosuz veri haberleşmesini sağlayan Zigbee modülü, sistemi kontrol eden mikrodenetleyici kartı ile besleme grubu ve verilerin alınması, saklanması ve test edilmesi için geliştirilen masaüstü yazılımını içermektedir. Çalışma kapsamında geliştirilen akıllı sistemde takım içerisine yerleştirilmiş olan MEMS ivme sensöründen elde edilen titreşim verileri, kablosuz veri iletim modülleri kullanılarak, uzaktaki bir bilgisayara aktarılmıştır. Geliştirilen yazılımla, alınan veriler eşzamanlı olarak izlenebilmekte, kayıt altına alınabilmekte ve veri analizleri yapılabilmektedir. Sistem kullanılabilir seviyeye getirildikten sonra yapılan testlerle kalibre edilmiştir. Geliştirilen akıllı takım sisteminin minyatür boyutta, düşük maliyetli, düşük güç tüketimli olması, dönen aygıtlara takılabilmesi ve sorunsuz çalışması bu çalışmanın önemini göstermektedir. Bu sistemin takım tutucu başlık üzerine sabitlenmiş olması ve kablosuz veri alışverişine izin vermesi, kesici takım hangi açıda olursa olsun veri gönderiminin kesilmemesini sağlamaktadır. Bu tip akıllı sistemlerin imalat sanayinde kullanımının yaygınlaşmasının, imalat esnasında oluşan sorunların daha kolay tespit edilebilmesinde ve bu sayede üretim sürecinin hızla iyileştirilmesine yönelik çözüm önerilerinin sunulmasında faydalı olabileceği düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Talaşlı imalat, Akıllı takım sistemi, Mikro elektro-mekanik sistem (MEMS), Kablosuz veri iletimi

## Monitoring of Tool Vibration in the Milling of Ti6Al4V with MEMS Accelerometer

### Abstract

The aim of machining is having maximized tool life with short spans of machining while maintaining high value of production, high quality standards and low production costs. The importance of fault detection and estimation is crucial for reaching these aims. One of the best methods of error detection and estimation available today is the analysis of vibration perceived using accelerometers. The vibrations caused by milling a part, affects the surface quality negatively. Simultaneous detection of the vibrations will allow

\* Sorumlu Yazar: Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye, ORCID: 0000-0002-6302-4574, [okan@akdeniz.edu.tr](mailto:okan@akdeniz.edu.tr)



correction of machining defects before these defects took place. In this study, using an innovative technology a smart tooling system has been developed which can detect vibrations of the tool-tip simultaneously during milling. This system includes the Micro Electro-Mechanical System (MEMS) vibration sensor used for vibration detection at the end of the cutting tool, the Zigbee module for wireless data communication, the microcontroller card for controlling the system, and the desktop software developed for retrieving, storing and testing the feed group and data. The data that is gained through the micro electro-mechanic system's (MEMS) accelerometer, which is embedded inside the tool, is transferred to a computer via wireless method. With the developed software, the received data can be simultaneously tracked, recorded and data analyzed. After the system is brought to the usable level, it is calibrated by the performed tests. The importance of this study lies in the smart tooling system which is very small, cheap to produce, energy efficient, can be implemented in rotational moving parts and very reliable and problem free. It has been thought that the increase in the usage of these systems in the manufacturing industry can lead to easier detection of the problems which will then be used for developing the solution ideas that will increase the quality of manufacturing processes in short spans of time.

**Keywords:** Machining, MEMS accelerometer, Intelligent cutting tool system, Wireless data transmission.

## 1. Introduction

Milling operations, which is an important area in machining, is a versatile manufacturing process and is widely used in industry. Milling operations are carried out by machining the workpiece of the cutting tool connected to a rotating shaft. Depending on the geometry of the cutting tool used in the mill and the geometry of the cutting edges, it has a complicated cutting geometry because it cuts from many points at the same time. Elements used in precision industries, especially in the aviation sector, have narrow tolerance limits (Çolak, 2006). The forces that occur at high cutting speeds and high chip removal rates in the machining of difficult pieces cause the cutting tools to vibrate excessively irregularly during the process. This vibration of the tools causes the cutting tool to break during machining, causing the machining stability and quality to deteriorate. In order to develop a stable machining strategy, the tool and machine vibration model of the tool vibration must be realized. For this, modal analysis of the machine tool pairs were performed and processing solutions were presented in analytical stability regions. However, at the time of processing, irregularities and wear on the tool require real-time monitoring of vibration (Eynian & Altıntaş, 2009). Turning the monitoring and analysis systems into industrial availability in the chip removal process where the tool status can be monitored will make it easier to solve such problems and will be able to pass the material and other material losses in advance (Işık, 2004). Moreover, simultaneous monitoring of vibrations in the toolholder heads during milling will ensure that analysis information is available for immediate detection and resolution of some physical problems that may occur on the workpiece. With this intelligent tool system developed in this study, it is desired to avoid roughness which may occur on the cut workpiece and the cutting tool during surface machining. It is aimed to monitor tool vibrations, which are formed especially during manufacturing of multi-axis machining of expensive materials such as titanium (Ti6Al4V), using wireless data communication and micro electromechanical sensor (MEMS) technology and to improve production process by detecting and analyzing problems during manufacturing. Innovative, cost-effective MEMS sensor data and signal processing technologies are used to achieve this goal. Within this scope, a wireless intelligent tool system has been developed. This system can be used without interfering before errors occur, allowing cutting tools of multi-axis CNC machines to be monitored wirelessly with a MEMS technology-based sensor.

Condition monitoring systems are systems that enable the status information about the operation of the system to be sent to the clients by interpreting the data obtained from an industrial process. These systems have great pre-emption in the process of obtaining data and process control in the industrial process. Preliminary identification of errors that can occur in the system by interpretation of the data is extremely important for economic and safe operation of industrial processes. The use of the status monitor allows for planned protection before an error occurs, avoiding the consequences of an error, or taking other precautions. However, it does not prevent the damage that would occur in case of deviations from the reference value (vibration behavior). When an error is detected, the error has already begun to occur and the status monitoring system may be measuring the occurrence of the deterioration. The interference prior to the formation of the fault ensures that the damage to the machine is greatly prevented. The best way to prevent the malfunctioning is to determine the malfunction without reaching a dangerous situation and stopping the machine's operation while it is in its initial stage. Vibration analysis is the best method available today (Orhan, 2002). Making a vibration monitor online will ensure that precautions can be taken without error. The state tracking methods that can be used in many different scenarios are based on the real-time implementation of decision-making algorithms for the current situation, which can be observed continuously instead of periodic maintenance at specific time intervals (Çalış, 2000).

Rotating machines have a chance of undergoing risk of errors more than non-rotating ones. When wired methods are used in monitoring the status of such machines, it is often possible to encounter limitations. When using wireless systems, there are many other useful aspects, such as the ease of transmitting data and the ability to monitor from a center. The advances in semiconductor technology have enabled the production of lightweight sensors and processors that can be transported in very small sizes, and the availability of wireless data transmission in the industrial field has come to the fore. For this study, ZigBee technology, which uses the IEEE 802.15.4 standard, which is in the forefront with its features such as miniaturized dimensions, low data signalling rate, low noise impact, low energy consumption and low cost, is preferred. ZigBee technology is a new and rapidly evolving technology. In addition, intelligent media applications developed for the preliminary detection of faults are Micro electromechanical system (MEMS) sensors, which are specially prepared and installed by connecting sensors to detect physical events (Somay, 2009). Recent developments in MEMS produce high performance, precise and low cost accelerometers. Acceleration sensors are sensors that convert acceleration from static motion or static gravity to electrical signals (analog or digital) and generate significant output. MEMS acceleration sensors incorporate a sensor with signal conditioning circuitry and are manufactured together in a single chip, which is very low in cost and highly reliable. The intelligent tool system developed in this study includes an MEMS vibration sensor, a microcontroller circuit board with embedded software, a ZigBee module and a lithium battery to provide power to these devices.

Similar previous studies; Suprock, C. A. et al. (2008) have implemented a wireless transmission system in which high bandwidth data can be obtained from a torque and temperature sensor mounted within the milling head holder. This special milling head holder transmits milling tip temperature and torque (torque) data throughout the cutting process to a remote computer in a wireless environment. Çolak (2006), During PHD's work, the cutting tool wear occurred during the milling of hard materials was determined by the sensors placed on the CNC milling machine. The optimal cutting conditions for milling are determined by artificial intelligence algorithms such as fuzzy logic modeling and genetic programming. In the study of the wear processes of selected cutting tools selected for milling hard materials, wear characteristics of surface milling and rough milling were investigated. Wright et al. (2006), in their work, the placement of temperature sensors within the head of a milling cutter and the transfer of temperature data to a remote computer via a wireless system. Two RTDs (Resistive Temperature Detector) are used as the temperature sensitivity. The aim is to simultaneously measure the tip temperature of the cutting tool which can reach high temperatures. Nicholas (2007), designed a smart tool holder for the CNC workbench in the thesis study. The system has installed a strain gage bridge for torque measurement, a "K" type thermocouple for temperature measurement, and a DAQ card with a 2.4 GHz bluetooth module for transmitting data to a remote computer. The data received from the sensors are transmitted to a remote computer via the Bluetooth transmitter and are recorded here. Tsai et al. (1999), In order to estimate the surface roughness of the machined parts in the milling process, the vibrations generated during the cutting process were collected in a computer by recording with the help of vibration sensors and modeled by analyzing this data. With this model, surface roughness is estimated at 96% accuracy. Lee et al. (2001), they investigate the shear forces that occur during high-speed milling and the vibrations that occur during this time. The experimental data obtained were analyzed with a prepared program. As a result, they found that the vibrations generated during cutting were an effective parameter on the surface roughness. Ertekin et al. (2003), During the CNC milling operations in their work, the surface roughness of the workpiece under various working conditions is examined using the vibration sensor data. The sensor data is evaluated in the regression analysis and the model equation to arrive at the surface roughness in the most accurate way is obtained.

With the technology developed in this study, high-cost counter-condition monitoring systems, which are currently used only by universities, research institutes, and research and development departments of major manufacturers, can be more attractive practical and achievable. Especially in CNC technology, the spread of complex machining tools will enable sensor data to be received at points that the current system can not reach. For example, when a part of a turbine blade being machined in a CNC machine running on a 7-axis is machined with a long finger mill, it is almost impossible to obtain vibration signals with the existing laser and piezo sensor data. The tingling effect that the vibration can generate in the processing of this part can only be monitored with a vibration signal which can be taken from within the tool. Since the damage that the rattle will give on the part is undesired, the measures to be taken according to the signals to be received by the MEMS micro sensors inside the tool will increase the quality of the processing. Such applications are particularly important in terms of ensuring and monitoring the precision of parts in the aviation and medical sectors. Sometimes in this sector the economic value of the parts processed is even higher than the CNCs that produce it, so there is no chance of making mistakes at the time of processing. This means that continuous monitoring and control of the machining situation is desirable. However, due to the high price of existing monitoring systems in the sector, investing in monitoring is avoided. Making advanced monitoring systems available to the industry can provide significant contributions in terms of cost of production, product quality, quantity of products, milling machine stability, tool selection and analysis of cutting parameters. Productivity and precision in production depend on a good monitoring system. For this reason, with the use of the "intelligent tool system;

- Precise milling of high cost materials,
- Preventing material faults by preventing errors in manufacturing process,
- Ensuring energy efficiency in production,
- It is thought to be beneficial in the development of safe processing techniques in machining.

With the developed intelligent tool system; it has been shown that it is possible to develop an easy-to-use and economical measuring system that can ensure that precautions are taken before faults occur in machining operations. It will be possible to track the position of the tool from the tool point at whichever axis, especially the dynamic analysis of the long sets with aerospace specification, and to minimize the material losses using smart processing technologies during machining. Zigbee and so on are not affected by noise in systems for monitoring and transferring data in machining, low power consumption and low cost. wireless data transmission systems have been shown to be able to run smoothly. The fact that MEMS sensors are in miniature size (5mm x 5mm x 2mm), low cost and high precision provide advantages for such systems. Thanks to this system it is proven that rotating parts can receive data from desired point by using various sensors. The simultaneous transfer of data to a computer allows data analysis either during or after data transfer. This intelligent tooling system is thought to contribute to the industry by allowing simultaneous monitoring of the problems occurring at the milling surface machining. It is also believed that the use of this system in the manufacturing industry will be useful in identifying the problems that occur during manufacturing and suggesting solutions for improving the production process.

## **2. Materials ve Methods**

### **2.1. MEMS Based Sensors**

In the past 30 years, it has been seen that millions of transistors resulting from large improvements in semiconductor electronics can be realized in the same integrated circuit. Thanks to these developments, miniature states of the mechanical and electronic systems that exist today are realized in micron dimensions on the same chip (Roco, 2001). Thus, the system price and dimensions can be as cheap and small as the chip. This technology is called Micro-Electro-Mechanical Systems or MEMS in short (Erkmen, 2004). There are many benefits of shrinking a mechanical system to a micro-scale. First, in such a system, the forces associated with volume

(weight / inertia) lose their importance. As a natural consequence, very fast mechanical systems can be realized in the micro-scale world. Thus, it is possible to imagine many systems, from the instantaneous moving and stopping mechanisms to the sensors which can withstand very large acceleration movements. Micro-mechanical systems take up less space and expend less power than large-scale machine systems. With proper mass production techniques, it is an important fact that the production costs of such systems are very low (Güler, 2007). MEMS devices also have advantages such as being able to be manufactured with existing integrated processes, and to be designed with electronic circuits (Beeby et al., 2004). Today, thanks to MEMS, the cost of integrated accelerometers and electronics on single chips is less than \$ 10 (Erbay et al., 2006).

One of the sensors that have become very important due to the development of MEMS technology is the acceleration sensor. Accelerometers are sensors that convert acceleration from static motion or static gravity into electrical signals (analog or digital) and generate significant output (Dölen & Kaplan, 2002). It generates an electrical output voltage proportional to the value of the oscillator. Acceleration occurs when a change occurs in the direction of the object or in the direction in which the velocity is directed. An acceleration sensor is also used to measure variable states such as impact, vibration, rotation, and slope (Erol & Serhatlıoğlu, 2011). Acceleration sensors have different operating methods. Some acceleration sensors use piezoelectric effect. The microscopic crystal structures they contain are stretched with an accelerating force; which allows the voltage to be generated. Another way is to perceive the change on the floor. There are two types of acceleration sensors, analogue and digital. Accelerometers with analogue outputs produce a continuously varying voltage depending on the applied acceleration. In digital output acceleration sensors, a variable frequency square wave, known as PWM (pulse width modulation), is produced as the output signal (Kadioğlu & Dinçer, 2008). Acceleration sensors are capable of measuring one, two and three axes separately or together (Dölen & Kaplan, 2004).

### 2.1.1. Adxl 78 MEMS Accelerometer

In order to obtain a better quality product in the machining and maximize the performance of the machine, the machining situation and performance can be monitored with the sensors placed on the machine during the process. Sensors with different characteristics are preferred for various purposes. Sensor based machining and monitoring is now seen almost everywhere in the manufacturing industry. Sensors, signal generators and data acquisition systems that have evolved with the development of digital technology have facilitated the evaluation of signals with algorithms developed through powerful computers. The production speed and quality for the same system are increasing day by day (Çolak, 2006).

The ADXL 78 model MEMS based acceleration sensor manufactured by Analog Devices Inc. was used for the development of the intelligent tool system in the study. In Figure 1, the ADXL 78 (Ad22279) sensor is a MEMS-based sensor that performs analogue measurement on the x axis.

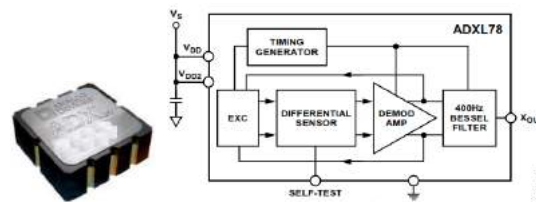


Figure 1. ADXL 78 MEMS sensor block diagram (ADXL 78 Data sheet, 2019).

MEMS based on accelerometers are preferred over traditional macro scale accelerometers because they are smaller, more functional, lighter and more reliable, and cheaper in price. Measuring both dynamic acceleration (vibration) and static acceleration (gravity), this sensor can measure up to  $\pm 37$  g. The ADXL 78 has a  $5\text{mm} \times 5\text{mm} \times 2\text{mm}$  size, working from 3.5V to 6V. This work is powered by a 3.7V lithium battery (DC). The operating current of the accelerometer is also a small value of 1.3 mA, which keeps power consumption at low levels. With this feature, the intelligent tool system is able to work on the system for a long time and ensures that the measurements are made in sufficient time intervals. The ADXL 78 is an 8-axis acceleration sensor and is in the circuit. The output voltage varies directly with the supply voltage. The output sensitivity is  $55\text{mV} / \text{g}$  for  $V_s = 5\text{V}$ . When the supply voltage increases, the noise sensitivity decreases. This is why the output sensitivity increases when the noise voltage remains constant.

### 2.1.2. ZigBee

The ZigBee name was taken from the zig-zag road that the bears watched as they roamed the flower from the flower. During this circulation, they act with the knowledge that other bees have reached these sources (from where they came from). As a new standard for wireless connectivity, ZigBee is based on the IEEE 802.15.4 standard announced by IEEE. ZigBee ensures the first general standard to be used in practice (Nagar & Biagioni, 2002). Considering the advantages of reliability, low cost and energy saving, ZigBee can be used in wireless connections of sensors and management products such as PC input devices. ZigBee allows automatic searching for wireless channels and the possibility of multiple wireless networks coexisting (Pinedo & Garcia, 2008). The distance to objects varies between 10 and 75 meters depending on the transmission power and environmental effects. Compared to other wireless technologies, this distance is both very long and requires very low power (Ercan, 2010). Depending on the flow of data, ZigBee devices dive deeply, saving energy (Yüksel & Zaim, 2009) and they can actively communicate with 30-40 units at the same time (Callavey et al., 2002). ZigBee is developed for low data-processing speed sensors and control networks (Bayılmış et al., 2004). The ZigBee architecture is based on two academic and industrial organizations (IEEE and the ZigBee Alliance) with more detailed protocol content and universal definitions than other technologies. Therefore, it has emerged as an alternative choice for ZigBee wireless area networks where Bluetooth-like or better industrial configuration is awaited (Çetin, 2009). The low power and relatively

long distance reach of the ZigBee standard is a very attractive option for wireless applications (Kahveci et al., 2004). The package sizes used in ZigBee technology are small and are sent at long intervals. Since acknowledgment messages are generated to check whether packets are being sent, there is no loss of data (Bayılmış vd., 2004). When the power of a ZigBee node is turned off, it is reopened and the operation time is around 15ms (Ergen, 2004).

ZigBee is based on the strong radio (physical layer, PHY) and Medium Attachment Control (MAC) layers defined by the IEEE 802.15.4 standard. Media access is based on "contention". An IEEE 802.15.4 (ZigBee) network requires at least one fully functional device as a network manager, but endpoint devices can be functionally reduced devices to reduce system cost. The IEEE 802.15.4 standard is a standard operating at very low power and can be fed with battery blocks. One advantage of the pilots is that they have removed the network noise from the center. Thus, measurements made independent of the power grid can be much more precise. This is very important in industrial measurements. Less power consumption brings the physical dimensions of the machine to shrink. In parallel with this shrinking, the costs are reduced and thus the application areas of the electronic circuits are increasing (Ertürk, 2009). In this study, XBEE-XB24-BWIT ZigBee module is used (Figure 2).

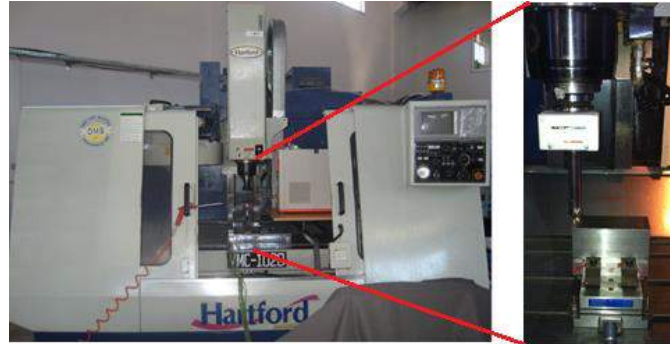


*Figure 2. ZigBee XB24-BWIT Modül*

These modules enable low-cost wireless data transmission using the ZigBee protocol, provide reliable data exchange between remote devices, and operate in the 2.4 GHz ISM frequency band.

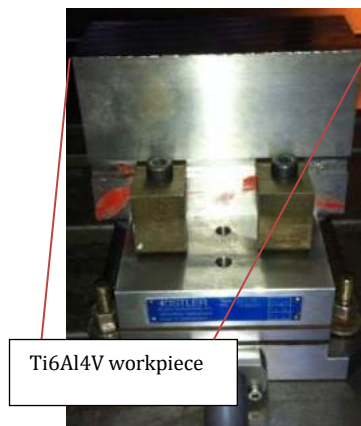
### **2.3. The CNC Machine, the Workpiece and the Tool Used in the Tests**

The final tests of the work were carried out at hartford vmc 1020 CNC milling machine at Süleyman Demirel University Cad / Cam research and application center (Figure 3).



*Figure 3. Hartford VMC 1020 CNC*

CNC milling machine is 4 axis. The worktable moves vertically on the z axis as the table top moves horizontally at the x and y axes. The table top dimensions are 1020mm on the x-axis and 500mm on the y-axis. The machine capacity is limited to 20 tool bindings. The maximum rotation speed of the work shaft is 6000 rpm. The workpiece used in this study (Figure 4) is Titanium (Ti-6Al-4V), a material widely used in aerospace and aerospace industries. The Ti-6Al-4V alloy reacts chemically with all cutting tools during machining.



*Figure 4. Ti6Al4V workpiece*



Ti6Al4V workpiece; Table 1 shows the mechanical properties and chemical composition (%) (Che-Haron & Jawaid, 2005).

Table 1. Mechanical properties and chemical composition (%) of Ti6Al4V alloy.

Mechanical properties			Chemical composition						
Tensile Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Flow Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elongation(%)	N	C	H	Fe	O	Al	V
900-1100	830	10	0.05	0.08	0.015	0.40	0.20	5.50	3.50

As the cutting tool, the tip of Seco 30179 ((Ti, Al) N-TiN) coated R217.21-1.00-0-R1252HA (Figure 5) was used.



Figure 5. Tool used in tests and features.

The copy milling tool is connected to the tool holder Seco Easy Shrink 15 machine. Figure 6 shows the mounting of the tool holder by thermal method (tight fit) of the cutting tools.



Figure 6. Placement of the tool holder by tight fitting of cutting tools.

### 3. Research Results and Discussion

In this work, a smart tool system has been developed in which the sensors, data processing and transmission systems are used in the simultaneous monitoring of the vibrations in the tool holder head for use in the milling process. This system may be used in simultaneous monitoring of vibrations occurring at the tip of the cutting tool during milling, and the effects of the mechanical vibrations occurring on the cutting tool on the surface quality may be determined. Developed intelligent tool system; In the MEMS structure, a vibration sensor, a microcontroller with embedded software, a circuit board (miniature card) containing a ZigBee transmitter module and a lithium battery to provide the power of these devices are installed. The energy consumption, dimensions and weights of all selected devices for the intelligent system are small.

#### 3.1. Intelligent Team System Design

The system design was drawn in CAD environment and a data transmission system (miniature card) consisting of microcontroller circuit, sensor and ZigBee modules was created. The entire electronic wireless transmitter and receiver circuit design is made in a miniature size on a single printed circuit board (PCB) for the mechanical shell mount, with appropriate mechanical mountings (Fig 7).

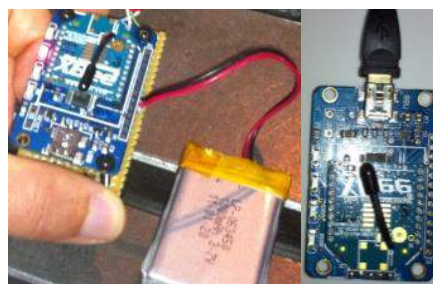
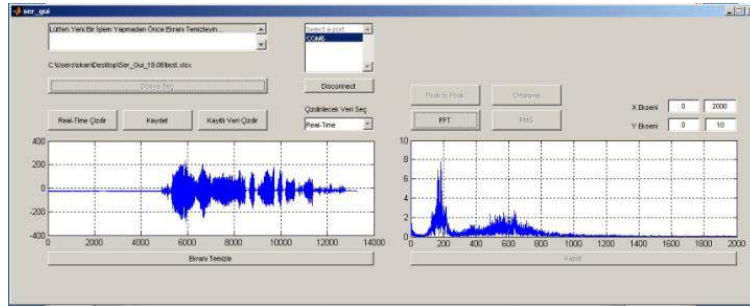


Figure 7. Developed miniature card and ZigBee receiver module.



The PIC 18F2550 microcontroller, which can provide 10 bit (capture and comparison 16 bit) resolution on the developed card, is used for collecting and digitizing the vibration data generated by the ADXL 78 MEMS vibration sensor placed on the tool holder head cap. Embedded software loaded into the microcontroller was compiled in the MPLAB IDE program using the C programming language. The microcontroller is the heart of the circuit in its entirety due to its features such as the conversion of analog signals from the sensor to digital, the processing of the converted signals to ZigBee mode. The microcontroller is programmed for this purpose. The microcontroller circuit operates with 3.7V DC voltage. This voltage is provided by a 3.7V Li-ion rechargeable battery. A ZigBee transmitter with a 2.4 GHz bandwidth was used for wireless transmission of the data, and this transmitter was connected to the microcontroller output for data transmission. The reception of the wirelessly transmitted data is provided by the ZigBee receiver module connected to the USB port of the computer. Data transfer is done by USB port. Numerical information is transferred as single axis (x axis) information. Digitally generated graphics are created simultaneously with desktop software developed, and simultaneously recorded in memory. Analysis can be performed on the recorded data (FFT, RMS, etc.) after the manufacturing process (Figure 8).

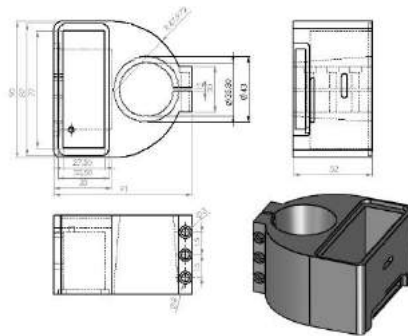


*Figure 8. Developed desktop software interface.*

The developed system can analyze the surface roughness of the formed Ti6Al4V superalloy by monitoring the tool vibrations during the milling of the surface. The MEMS acceleration sensor is used as an acceleration sensor that measures the accelerations that occur in the applied force result. They are characterized by output voltage. It has advantages such as small size, high precision and low cost. The sensitivity of the sensor is applied in mV / g at the Vo pin, where the output voltage change per unit of g of applied vibration is determined. The output voltage ( $V_o$ ) of the sensor, the vibration input (g) and the power supply voltage ( $V_s$ ) are given in Equation 1. Where S is sensitivity, g is input acceleration.

$$V_o = \frac{V_s}{2 - \left( \frac{S \times g \times V_s}{5V} \right)} \quad (1)$$

The results obtained show that the developed device has the ability to measure vibrations in response to acceleration changes of the acceleration sensor. In order to place the developed devices on the tool holder cap, a plastic rapid prototype was manufactured (Figure 9) and tightened onto the shaft.



*Figure 9. Developed plastic prototype and dimensions.*

The developed software includes a microcontroller circuit board, a configured ZigBee transmitter module, and a 3.7V li-on battery to power these devices in the special compartments made in this prototype. Thus, a "Smart Tool System" was manufactured (Figure 10). In MEMS construction, a hole is made in the sensor dimensions on the insert for the vibration sensor and the sensor is placed in this hole. The connection between this sensor and the miniature card with ZigBee transmitter module developed in the scope of work is provided by inserting the special wire through the tool holder shaft. A MEMS sensor positioned on the cutting insert; high temperature formed at the cutting edge during the machining operation and the shield is coated with special putty resistant to heat to prevent it from being hit by hot sawdust.

The vibrations on the cutting tool were detected by the MEMS sensor and inspected by the microcontroller and the ISM was sent to a remote computer at 2.4 GHz frequency with the miniature card with the ZigBee transmitter module located inside the header. The data received from the computer connected to the ZigBee receiver module connected via USB port was stored in software in the MATLAB program and the frequency (Hz) - displacement (mm) graphs were obtained. In this view, the data received from the

MEMS vibration sensor placed in the toolholder head can be wirelessly sent to the computer via the developed miniature card. The Smart System block diagram, consisting of the single axis MEMS acceleration sensor, microcontroller and ZigBee transceiver module, is shown in Figure 10.

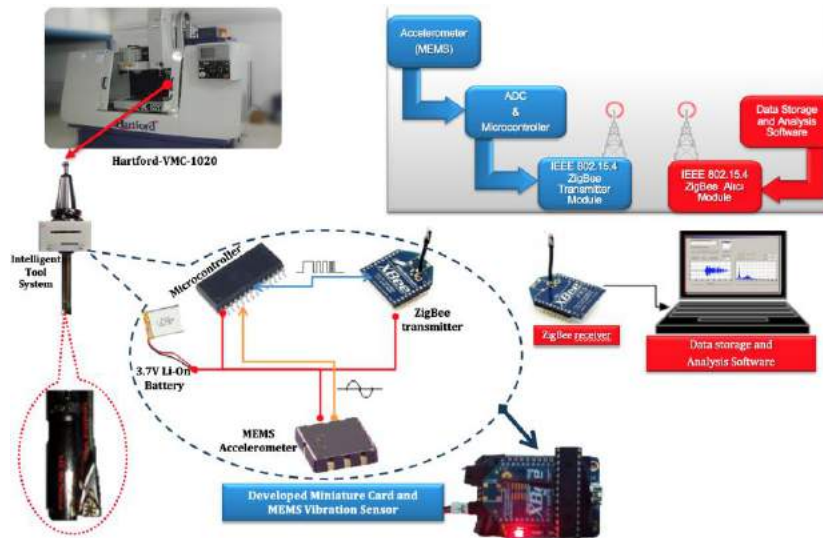


Figure 10. Intelligent Tool System Block Diagram.

The data from the sensitivities were used to simulate the dynamic cutting conditions and to evaluate the analysis results. The developed intelligent tool system test time is shown in Figure 11

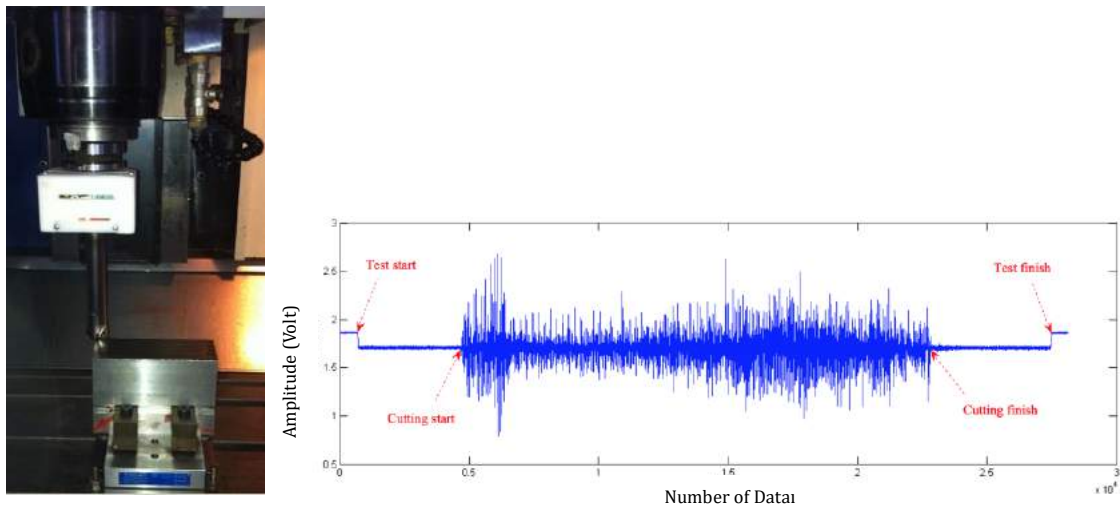


Figure 11. Sample vibration signal taken with intelligent tool system at the time of test.

Intelligent tool system; In the case of rotating devices, it is advantageous to transmit data received in real-time wirelessly with sensors from areas that are almost impossible to monitor with wired sensors to the computer, enabling data analysis both during and after data transfer.

### 3.2. Calibration

The calibration was done to test the accuracy of the data from the tool holder head where the MEMS sensor was attached. To perform the required calibration analysis, a hammer test was performed by attaching a PCB 353B31 piezoelectric sensor, which is reliable and calibrated to MEMS and measurement to the milling cutter tip (Figure 12).



Figure 12. Calibration

Statistics such as mean and standard deviation were applied to define the distribution of study data. The model equation was constructed using linear regression analysis for calibration. Two difference test (t-test) was used to compare the estimated value obtained from two different equations and the value obtained from the sensor. The data were analyzed with SPSS and the analysis results were tested with  $\alpha = 0.05$  error margin. The experiment was carried out in two separate stages. In order to achieve the calibration, 11 strokes were performed with hammer aid in the first stage and data were collected from two sensors. To ensure that the data analysis is evaluated on the same unit, the units of measurement data of the two sensors are converted to volts. Data from transformed and different two sensors were evaluated using linear regression analysis. According to this analysis, the compliance ratio between the two sensors was 73% ( $R^2 = 0.732$ ) ( $p = 0.001$ ). In equation 2, the model equation is obtained. R; is the coefficient expressing the suitability of the regression equation. Depending on the relationship between dependent and independent variables used in each discipline or model, the acceptable value of R2 is the closest to the optimal value of 1, with varying values. As R<sup>2</sup> approaches 1; it is accepted that the regression model expressing the relationship between dependent and independent variables increases statistically close to the real relationship. According to Pearson coefficient; R<sup>2</sup> is 0.80 and above; is regarded as a strong relationship, and between 50% and 75% is regarded as a middle level relationship. In this case, when the modeled statistical regressions (Table 5) are examined, it appears that they are within acceptable limits.

Table 5. Model summary and parameter estimation

Dependent Variable: Piezoelectric Sensor							
Equation	Model Summary					Parameter Estimation	
	R Square	F	df1	df2	p values	Constant	Coefficient
Linear	0.732	24.582	1	9	0.001	-4.442	3.007

Independed variable: MEMsSensor.

The model used to calibrate the compatibility between these two sensors is shown in Equation 2;

$$y = -4.442 + 3.007x \quad (2)$$

In the equation (2) "y" is the expected value measured by the sensor PCB 353B31 and "x" is the value measured by the MEMS sensor. A separate 10-beat experiment was conducted to test the validity of the model. Measurements obtained from this experiment were converted to volts. The data from the MEMS sensor was substituted in equation 2 and the results were compared to the PCB 353B31 sensor measurement. Statistical correspondence of the data obtained from the MEMS sensor and the data obtained from the PCB 353B31 sensor with the transformed data was found by the t test (table 6,7) ( $p = 0.603$ ).

Table 6. T-test result table

	t-testi						
	t	df	p value	Averege for Difference	Averege for Std. Difference	95% Confidence Range of Difference	
						Alt	Üst
MEMS	-0.530	18	0.603	-0.22181	0.41880	-1.10167	0.65805

Table 7. Desriptor table

Instruments	N	Average	Std. Deviation	Std. Error
MEMS	10	2.9548	0.82690	0.26149
PCB 353B31	10	3.1766	1.03448	0.32713

The result is that the model equation is suitable for calibration. The confidence interval is shown in Fig.16

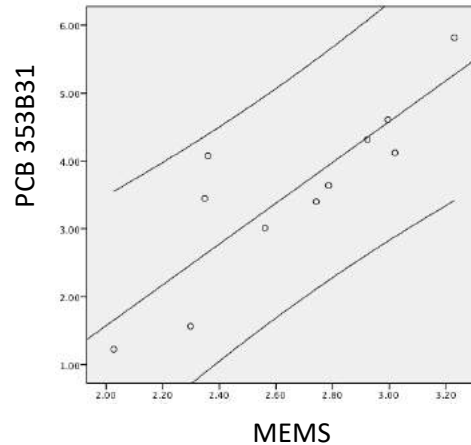


Figure 16. Confidence Interval Results

#### 4. Conclusions and Recommendations

The most important factor to be considered in the manufacturing process is that the production is carried out in accordance with the highest quality and standards at the lowest cost. The development of machining, the increasing speed of cutting and advancing, the use of different materials in production and the development of machining benches are necessitating the use of condition detection systems in the machining industry. State detection methods that can be used in many different scenarios are based on the real-time implementation of decision-making algorithms for the current situation, which can be observed continuously instead of periodic maintenance performed at specific time intervals. In the machining of titanium (Ti6Al4V) materials covered in the study, the failure to make the manufacturing with sufficient precision at high speeds causes some mechanical problems and material loss on the material. This situation leads to the loss of time and money as well as the reason that this material with high economic value comes to the idle state. In this study, it is aimed to monitor the working conditions of the lathe by using wireless data transmission technology during the milling of titanium (Ti6Al4V) materials with the developed intelligent tool system. It is aimed to identify the problems encountered during manufacturing and to improve the production process. Simultaneous monitoring of vibrations in the tool holders on the machined surfaces with wireless communication as an innovative technology enables the acquisition of analysis information for immediate detection and resolution of some physical problems that may occur on the workpiece. It is thought that the obtained vibration data can be useful for precise milling of high cost materials by analyzing the surface roughness and machining stability of the formed parts, preventing material loss by preventing errors in the manufacturing process, ensuring energy consumption efficiency in production and suggesting solutions for developing safe machining techniques in chip production. With the developed intelligent tool system; an easy-to-use and economical measuring system has been achieved which can ensure that precautions are taken before machining errors occur in the machining operations. Thanks to this system it has been proven that the rotating parts can receive data from desired points by using various sensors. The fact that the MEMS sensor's circuits are in one piece, 5mm x 5mm x 2mm, offers the advantages of low cost and high precision measurement capability. Zigbee technology used in the system is not affected by noise, low power consumption and low cost because of features such as wireless data transmission during milling can be seen to work without problems. Monitoring and control possibilities in wireless communication systems, trouble-free operation with sensors and low cost indicate that the use of wireless data communication technology will be preferred. The system's small size, low cost of production, low power consumption and especially the ability to attach to rotating devices, as well as data transmission in real time on a computer in a wireless manner, during data transfer or after data analysis is important. It is thought that this intelligent tooling system will contribute to the literature by allowing simultaneous monitoring of the problems occurring at the milling surface machining. In this study, the temperature value at the time of cutting was not measured. In future work, the measurement of temperature values at the time of cutting can be done using inexpensive temperature sensors. In addition, the network property of wireless ZigBee technology can be used to investigate the effect of the magnetic field on the system, which can occur during the rotation of the intelligent tool system and the detection of the situation from one point to another (sensors, vibration, temperature, force).

#### Acknowledge

This study was supported by Suleyman Demirel University Scientific Research Projects (Proje no: SDU-BAP 2637-D-11). This study was presented as an oral presentation at the 17th International Conference on Machine Design and Production (UMTIK-2016).



## References

- Analog Devices, *ADXL78 Accelerometer Data sheet*, Retrived from [www.analog.com/static/ADXL78.pdf](http://www.analog.com/static/ADXL78.pdf)
- Bayılmış, C., Ertürk, İ. & Çeken, C. (2004). Kablosuz Bilgisayar Ağlarının Karşılaştırmalı İncelemesi, *Politeknik Dergisi*, 7(3), 201-210.
- Beeby, S., Ensell, G., Kraft, M., White, N., & Sensors, M. M. (2004). MEMS Mechanical Sensors, *Artech House Inc.* Boston, London.
- Callaway, E., Gorday, P., Hester, L., Gutierrez, J. A., Naeve, M., Heile, B., & Bahl, V. (2002). Home networking with IEEE 802.15. 4: a developing standard for low-rate wireless personal area networks. *IEEE Communications magazine*, 40(8), 70-77.
- Che-Haron, C. H., & Jawaid, A. (2005). The effect of machining on surface integrity of titanium alloy Ti-6% Al-4% V. *Journal of materials processing technology*, 166(2), 188-192.
- Çalış, H. (2000). Endüstriyel Tesislerde Kullanılan Durum İzleme Metotlarının Değerlendirilmesi, *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Müh. Sempozyumu*, 160-164, Bursa.
- Çetin, H. E. (2009). *Kablosuz Sensör Ağlarının MicaZ Tabanlı Biyomedikal Uygulaması* (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir-Türkiye).
- Çolak, O. (2006). *CNC freze tezgahı için kesme parametrelerinin akıllı yöntemlerle elektronik ortamda optimizasyonu* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi).
- Dölen, M., Kaplan, H. (2002). Mikro Elektro Mekanik Sistemler, Genel Bir Tanıtım. *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*, 4 (3), 173-185.
- Erbay, B. L., İnal, L. & Öztürk, M. M. (2006). Akışkan Mikromekanik Sistemler, *Mühendis ve Makine*, 47(556).
- Ercan, T. (2010). Duyurga Ağların Kurtarma Birimleri Tarafından Kullanımına İlişkin Bir Modelleme. *III. Ağ ve Bilgi Güvenliği Sempozyumu*, Ankara.
- Ergen, S. C. (2004). ZigBee/IEEE 802.15. 4 Summary. *UC Berkeley, September, 10, 17.*
- Erkmen, A. (2004). Vizyon 2023 Projesi Mekatronik Strateji Grubu, *Mekatronik Strateji Raporu*, Tubitak, Ankara.
- Erol, Y. & Serhatlıoğlu, M. (2011). Adxl320 İvme Sensörü ile Dijital Su Terazisi Tasarımı, *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*, 41-45s, Elazığ.
- Ertekin, Y. M., Kwon, Y., & Tseng, T. L. B. (2003). Identification of common sensory features for the control of CNC milling operations under varying cutting conditions. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43(9), 897-904.
- Erturk, A. (2009). *Electromechanical modeling of piezoelectric energy harvesters* (Doctoral dissertation, Virginia Tech).
- Eynian, M., & Altintas, Y. (2009). Chatter stability of general turning operations with process damping. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 131(4).
- Güler, M. (2007). *Giyilebilir algılayıcılar ile yaşamsal verilerin ölçülmesi iletilmesi ve görüntülenmesi* (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Işık, Y. (2004). Talaşlı İmalatta On-Line Takım Durumu İzleme Yöntemleri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 9(1).
- Kadioğlu, T. & Dinçer, H. (2008). İvme Sensörü Uygulaması, *ELECO'2008 Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, Bursa.
- Kahveci, S., Türk, K., & Kaya, İ. (2004). IEEE 802.15. 4 Zigbee Standardının 2.4 GHZ ISM Bandında Kapasite Analizi. *URSI (Union Radio Science Internationale) Türkiye Ulusal Komitesi, URSI-TÜRKİYE'2004 Bilimsel Kongresi*, 170-172.
- Lee, K. Y., Kang, M. C., Jeong, Y. H., Lee, D. W., & Kim, J. S. (2001). Simulation of surface roughness and profile in high-speed end milling. *Journal of Materials Processing Technology*, 113(1-3), 410-415.
- Nagar, N., & Biagioni, E. S. (2002, June). Open Issues in Routing Techniques in Ad Hoc Wireless Sensor Networks. In *PDPTA* (pp. 1867-1873).
- Nichols, J., S. (2009). *Design and application of a wireless torque sensor for CNC milling*, (Master's Theses and Capstones, University of New Hampshire), 452.
- Orhan, S. (2002). *Rulmanlarla yataklanmış dinamik sistemlerin titreşim analiziyle kestirimci bakımı* (Doctoral dissertation, Doktora Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Pinedo-Frausto, E. D. & Garcia-Macias, J. A. (2008). An experimental analysis of Zigbee networks. In *2008 33rd IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN)* (pp. 723-729). IEEE.
- Roco, M. C. (2001). A frontier for engineering The Aim of Nanotechnology to Build the Future, Molecule by Molecule, *Mechanical Engineering Magazine Select Articles*, 123(01), 52-55.
- Somay, A. (2009). *Bir kablosuz ölçüm sisteminin iee 802.15. 4 (ZigBee) standardı kullanılarak gerçekleştirilmesi* (Doctoral dissertation, Karadeniz Teknik Üniversitesi).
- Suprock, C., A. (2008). Microprocessor Controlled Impulse Hammer System, Helga the Hammer, Automated\_Impulse\_Response, <https://www.yumpu.com/en/document/read/6132192/microprocessor-controlled-impulse-hammer-system-suprock>
- Tsai, Y. H., Chen, J. C., & Lou, S. J. (1999). An in-process surface recognition system based on neural networks in end milling cutting operations. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 39(4), 583-605.
- Wright, P. K., Dornfeld, D. A., Hillaire, R. G., & Ota, N., K. (2006). A Wireless Sensor for Tool Temperature Measurement and its Integration within a Manufacturing System. *North American Manufacturing Research Institute*, 34.
- Yüksel, M. E. & Zaim, A. H. (2009). RFID'nin Farklı Kablosuz İletişim Teknolojileri İle Ekileşimi. *Akademik Bilişim 2009* Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.





## Dünyada ve Türkiye'de Sağlık Hizmetlerinin Dijital Pazarlanması

Menekşe Kılıçarslan<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Istanbul Aydın University, Health Management Department, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-0580-8645)

(İlk Geliş Tarihi 3 Aralık 2019 ve Kabul Tarihi 31 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.654715)

**ATIF/REFERENCE:** Kılıçarslan, M. (2019). Dünya da ve Türkiye De Sağlık Hizmetlerinin Dijital Pazarlanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1145-1149.

### Öz

Dünyada gelişme gösteren teknoloji sayesinde pazarlama yaklaşımı ve yöntemleri farklı seviyelere ulaşmıştır. Geçmiş dönemdeki geleneksel yaklaşımdan, modern yaklaşımın temel yapısını oluşturan dijital pazarlama yaklaşımına geçiş sağlanmıştır. Dijital pazarlama ile birlikte sağlık alanında hizmet verilmesiyle iletişimin daha etkili sağlanmasına, çeşitli güncel konuların ele alınmasında, dijital pazarlama alanına geçiş aşamasında uyum sağlamasına ve toplumdaki fikir yöneten bireylerin katılımcı özelliğinin ön plana çıkmasını sağlamaktadır. Dijital teknolojinin oluşması aynı zaman pazarlama stratejisinin de önemli bir şekilde gelişme göstermesine olanak sağlamaktadır.

Sağlık sektörü diğer sektörlerle göre insan hayatını söz konusu aldığı için ve oluşacak her bir durumda insan hayatının direkt olarak bu durumdan etkileneceğinden tüm sektörlerde var olan uygulamaların bu alana uyarlanması daha yoğun ve hassas bir çalışma gerektirmektedir. Sağlık sektöründeki dijital pazarlama süreci de tüm bu kısıtlamaların içinde insan hayatını olumsuz etkileyecek yönlendirme ve göndermelere fırsat vermeden hedef kitleye erişim ve ulaşım amacıyla yöntemlerini uygulamakta ve geliştirmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Teknoloji, Dijital Pazarlama, Sağlıkta Dijital Pazarlama

## World in Turkey and the Deer Health Services Digital Marketing

### Abstract

Thanks to the developing technology in the world, marketing approaches and methods have reached different levels. The transition from the traditional approach in the past to the digital marketing approach, which forms the basic structure of the modern approach, has been provided. Providing services in the field of health together with digital marketing enables communication to be more effective, addressing various current issues, adapting to the stage of transition to digital marketing, and facilitating the participatory characteristics of individuals who manage ideas in the society. The creation of digital technology also enables the marketing strategy to develop significantly

Since the health sector takes human life in relation to other sectors and in every situation human life will be affected directly by this situation, adaptation of the applications in all sectors to this field requires more intensive and sensitive work. The digital marketing process in the health sector also implements and improves the methods for the purpose of reaching and reaching the target group without giving any opportunity to forwarding and referencing the human life negatively.

**Key words:** Technology, Digital Marketing, Digital Marketing in Health

### Giriş

#### İçerik yönetimi

Etkili bir Arama Motoru Optimizasyonunu ilgili ve olağanüstü içerikle gerçekleştirmek mümkündür. Hastanenin tasarlayacağı içeriğe ve blog sitelerine sahip arama motorlarında en üst sıralarda var olan potansiyel ve sadık müşteriler için, sağlık bakım hizmetlerini

\* Istanbul Aydın University, Health Management Department, İstanbul, Turkey, ORCID: 0000-0002-0580-8645, [meneksekilicarslan69@gmail.com.tr](mailto:meneksekilicarslan69@gmail.com.tr)

talep eden hastalar her daim kullanılabilir hale getirilebilir. Etkili yazılıma sahip bir hastane web sitesiyle, müşterilerin ilgisini kolaylıkla sağlayabilirsiniz. (Gülmez, 2011).

### **Pazarlama Kavramı**

Pazarlama kelimesi çok farklı şekillerde incelenmiş bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. Bazı araştırmacılar pazarlamayı dağıtım veya satış konusunu incelemişken, bazı araştırmacılar ise pazarlamayı reklam kapsamında incelemiştir. Bu temel tanımlama ile beraber Pazarlama kavramı bir ifade ile tüketicilerin ihtiyaçlarını karşılama anlamını taşıyan olduğunu araştırmalar da mevcuttur. Bunun yanında bu unsurun yalnızca bir olduğunu düşünen kesim de vardır. Pazarlama yalnızca satışı ifade etmemektedir. Firmaların pazarlama departmanları, mevcut veya potansiyel müşteri ihtiyaç ve isteklerine hitap eden mal ve hizmetlerin üretilmesini sağlayıp, bunların etkili biçimde müşterilere ulaşmasını ayrıca Bununla birlikte pazarlama konusu mal ve hizmetlerle alakalı reklam faaliyetlerinin yürütülmesini sağlayarak müşteriler tarafından tercih edilerek hizmet veya ürünlerin satın alınmasını sağlamaktadırlar. Nihayetinde satış sonrasında ise satılan ürünlerin veya verilen hizmetlerin müşterileri memnun etme derecesinin araştırılması da pazarlama departmanlarınca yapılmaktadır (Bilge ve Göksu, 2010) .

### **Dijital Pazarlama Kavramı**

80'li yıllarla birlikte dünyada internet kavramının ortaya çıkıp yaygınlaşması ile günümüze kadar gelen süreçte devamlı olarak şekil değiştirmiş ve hayatımızın her alanında kendine yer bulmuş olmasıyla bu durumdan en çok etkilenen alanlardan biri de tartışmaya yer olmayacak şekilde pazarlamadır.

Sürecin ve yeniliklerin farkında olan üreticiler tüketiciye hızlı ve doğrudan ulaşma yöntemi olarak interneti tercih etmekte ve her geçen gün daha fazla kullanmak istemektedir. Bu gelişmeler herkesin yakından takip etmeye başladığı "Dijital Pazarlama" sürecini hızlandırmış durumdadır (Yönder Karabeyoğlu,2018) .

Küresel Dünyamızda Günümüzdeki gelişmeler ve internet sayesinde pazarlar artık neredeyse tek bir pazar haline gelmiştir. İnsanlar gerek temel gerekse özel olan neredeyse tüm ihtiyaçlarını çok hızlı ve kolay biçimde karşılayabilir hale gelmiştir. Dolayısıyla insanların istek ve arzuları çok hızlı bir biçimde değişmekte ve bir an evvel karşılanma ihtiyacı duymaktadır.

İşte tüm bu zorlu koşullar ve insanların sonsuz istekleri karşısında işletmelerin yoğun rekabet ortamlarında ayakta kalmaya çalışmaktadırlar Ticaretin giderek elektronik ortama taşınması ticaretin dijitalleşmesine neden olmaktadır (Akar ve Kayahan, 2007) .

Firma ve markalar, içinde bulunduğumuz teknoloji çağında rakipleri ile mücadele edebilmesi için geleneksel pazarlama yöntemlerinin yanında teknolojik yöntemler de tercih etmektedirler. Markaların, geleneksel pazarlama yöntemlerini günümüz teknolojisi ile birleştirmeleri, pazarlarında tüketici ile olan etkileşimleri ve ihtiyaç karşılama oranlarında dijital pazarlamayı tercih etmektedirler. Firmalar dijital pazarlama uygulamalarını akıllı telefon uygulamaları, dijital reklamlar gibi faaliyetlerle kendi bünyelerinde geliştirerek kullanıcılarla bütünleştirilmesi gerekmektedir. Dijital pazarlama uygulamaları, ürün ve hizmetlerin tüketiciyle hızlı ve düşük maliyetler ile buluşma imkânı sağlamakta olup, yeniliğin ve yaratıcılığın hızlı bir şekilde tüketildiği bir Pazar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle dijital pazarlama alanında firmaların stratejik faaliyetleri hedef olarak belirlenen Pazar kitlesinin kişilik özelliklerini, ihtiyaçlarını ve buna bağlı olarak davranış şekillerini dikkate alarak sürekli bir biçimde yenilenmek ve kreatif olmak zorundadır. Dijital pazarlama stratejileri, bütün multimedya özelliklerini kullanarak bir bütün oluşturması gerekmektedir (Yönder Karabeyoğlu,2018) .

Sosyal medya ile dijital pazarlamanın sıkı ilişkisi, devamlı ve sürekli artan kullanıcı sayıları ile birlikte Firmalar ve markalar için artık başlı başına bir Pazar gücü anlamına gelmektedir. Gazeteye veya Televizyon Radyodan verilen reklam ilanları gibi Cep telefonlarından SMS ile haberleşilen günler çok eskide kalmasa bile o günlerle günümüz arasında çok büyük bir teknoloji farkı bulunmaktadır Bunun sebebi teknolojik gelişmelerin son 10 yıl içerisinde yaşamış olduğu gelişim patlamasıdır. İnteraktif dünya, sosyal medya ve internet; radyo ve televizyon gibi tek taraflı iletişim araçlarına kıyasla reklam dünyası için oldukça hareketli kalmaktadır. Sıra dışı bir şekilde her gün değişen ve gelişen bu platformlara, markalar pazarlama stratejilerini bu hız ve isteklere entegre etmeye çalışmaktadırlar.

İnsanların dijital alanla ve interaktif dünya ile etkileşimleri İnternet, akıllı telefonlar, bilgisayarlar, tabletler gibi araçlar üzerinden her geçen gün daha da artmaktadır. Söz konusu bu değişim kurumların da interaktif ve elektronik ortamlardan değişime cevap vermelerine neden olmaktadır (Moon Millison, 2003) .

### **Dijital Pazarlamanın Türkiye'deki Durumu**

Günümüzde, pek çok kişi neredeyse tüm işlemlerini interaktif kitle iletişim araçları üzerinden dijital ortamda yapmaktadır. İnterneti kullanıp aynı zamanda müzik dinleyip, güncel haberleri okuyup, televizyon izleyen kişilerin sayısı oldukça fazladır Ancak bu kişilerin bilimsel araştırmalara göre herhangi bir şeye 15 dakikadan fazla odaklanmadığı bilinmektedir. Bu kısa zaman içerisinde; internet üzerindeki odaklanma işlevi oldukça hassastır. Marka ve firmalar potansiyel ve mevcut müşterilerinin dikkatini çok hızlı bir biçimde çekmek zorundadır. Günümüzde, insanlar internet kullanımının yaygınlığına ek olarak büyüyen ve gelişen sosyal ağlarla birlikte medya kavramının değiştiği bir düzen içerisinde bulunmaktadır. Dünyada internet kullanan insan sayısı yaklaşık 3 buçuk milyara yaklaşmış durumdadır. Türkiye'de internet kullanan birey sayısı 47 milyon civarındadır (Yönder Karabeyoğlu,2018) .

### **Dijital Pazarlamanın Sağladığı Yararlar**

Dijital pazarlamanın firma ve markalara sağladığı en büyük avantaj binlerce müşteriye çok düşük maliyetlerle aynı anda veya çok kısa zaman aralıkları ile ulaşabilme imkânı sağlamasıdır. Özellikle dijital ortamda bilhassa sosyal medya site ve uygulamalarında işletmelerin reklam ve pazarlama maliyetlerinin de düşmesi söz konusudur. Bu durumun sağladığı avantaj ile işletmeler çok daha az

maliyetlerle daha çok fazla insana etki edebilmektedir. Dijital pazarlamayla birlikte işletmeler verdikleri hizmetler veya sattıkları ürünler üzerindeki değişiklikleri yani yeniliklerin reklamlarını hızlıca insanlara aktarabilmektedir (Yükselen, 2016) .

Müşteriler yani ihtiyaç sahipleri açısından bakıldığında ise, aynı anda birden çok markanın ürününü kıyaslayabilmekte ve fiyat performans araştırmasını hızlıca yapabilmek aynı ürünü daha az fiyata verebilen firmalara ulaşabilme olanağına sahip olmaktadır. (Haşiloğlu, 2006)

### **Elektronik Pazarlama ve Dijital Pazarlama Kavramları**

Elektronik pazarlama ile dijital pazarlama kavramları birbirlerine oldukça benzemektedir. Dijital pazarlama da elektronik pazarlama da pazarlama faaliyetleri kablosuz medya, web, interaktif TV, e-mail gibi alanları kullanarak yürütülmektedir. Bu iki kavram da temelinde üç öge barındırmaktadır. Birinci aşama olarak çeşitli kanal formlarına başvuru yapmaktır. Kablosuz uygulamalar, veri tabanı, e-mail ve web teknolojilerinde pazarlama bu kanallardandır. İkinci aşamada ise amaç; kazanç getiren müşterileri interaktif reklamlar gibi pazarlama aktiviteleriyle elde tutmaktır. Son olarak da geleneksel ve elektronik iletişim araçlarından yararlanılarak müşterilere ulaşıp reklam ve pazarlama amacıyla yeniden yerleştirme kapsamında planlanan metotlardan faydalanmaktır (Akar ve Kayahan, 2007).

### **Sağlık Hizmetlerinin Pazarlaması**

Sağlık hizmeti pazarlaması, hedef kitlenin ruhsal ve fiziksel sağlığı ile ilgili problemleri anlayıp, sorularını cevaplandırıp çözüm önerileri ile yararların ne şekilde sağlanabileceğini anlatarak, söz konusu kitleyi etkilemek amacıyla faaliyet gösteren pazarlama çabalarıdır (Gülmez vd., 2013).

Pazarlamanın amacı, hastalar ile hizmeti sağlayan kurumları hızlı ve en kaliteli seviyede bakımın sağlanacağı sağlık problemlerinin anlaşılabilir çözüme kavuşturulacak biçimde bir araya getirmektir. Ürün, fiyat, yer ve hizmet konuları çok iyi ve dikkatli olarak planlanmalı, bunun yanında hastalar tercihleri hakkında bilgilendirilmeli ve hastaların davranışlarını etkilemek için çeşitli çabalar sarf edilmelidir (Griffith, 1995).

Sağlık hizmetinin pazarlanmasındaki zorluk, sağlık hizmetinin çok nadir ve kişiye özel bir ürün veya hizmet olmasından kaynaklanmaktadır. Hastaların kendi hastalıkları veya Hastaneye karşı oluşan ön yargıları olabilir bu nedenle hastane sağlık hizmetlerini pazarlamak diğer alanlara kıyasla oldukça güçtür. Sağlık hizmeti pazarlamacılarının odaklanması gereken noktalar kişilerin hastalıklarından ziyade, sundukları hizmet, hizmetin kalitesi, hizmetin hızı ve tabii ki söz konusu hizmetin hastanın yararına olması, bundan fayda sağlamasıdır. Sağlık hizmetleri işletmeleri, tüm pazarları ve dijital pazarlarında hizmeti alan kişinin uzun vadede elde ettiği kazanç ve faydaları göz önünde bulundurmak zorundadır. Sağlık hizmetinin Hastanın/ tüketicinin hayatında ve sağlığında yaptığı uzun vadeli değişiklikler kişi ve hastalık sonrası hakkında bilgi sahibi olunabilmesi için tedavi sonrası hasta izlenmeli ve birkaç aylık verilerle takip edilmelidir. Dijital pazarlarda Hastane veya sağlık hizmeti alan kişilere sunulan sağlık hizmetinin faydalarının anlatılması, ilerdeki viziteler için yardımcı olmakla birlikte, ayrıca hasta ve yakınları ile ilişkileri geliştirmek için de bir temel teşkil etmektedir. Her sağlık hizmeti tüketicisi, Pazar ve hizmeti sağlayan kişi veya firmalara önemli bir getiri veren ve hayat boyu süren bir değere sahiptir (Çetin, 2018).

### **Sağlık Sektöründe Türkiye’de Medikal Dijital Pazarlama Uygulamaları**

Sağlık hizmeti sunumunda son dönemlerde dijital pazarlama sektöründeki uygulamaların kullanılması yaygınlaşmıştır. Bu bağlamda insan sağlığının geliştirilmesine ve korunmasına yönelik bilgilendirmeler yapılmıştır. Ülkemizde özellikle son yıllarda ilaç sektörü ve hastanelerde dijital pazarlama uygulamalarının kullanımının daha halçok artmış olduğu görülmektedir (Tosyalı ve Sütçü, 2016).

Sağlık sektöründe olması istenen ve beklenen dijital pazarlama uygulamalarını ve bu uygulamaların pazarlama yaklaşımlarını nasıl desteklediğini detaylandırmak gerekebilir. Web sitesi yapımı, Facebook ve Twitter gibi sosyal medyanın varlığını yüksek düzeye taşımak, Arama Motoru Optimizasyonu (SEO), mobil uygulamalar, dijital yaklaşımların etkililiğini analiz edebilmek adına müşteri analizi ve dijital analitik bilgisi gibi uygulamalar önemli dijital pazarlama becerilerinden sayılmaktadır. Bahsi edilen bu dijital pazarlama becerileri olmadan tüm kuruluşlar rekabetçi dezavantaja sahiptir, hedefledikleri müşterileri ile hızlı iletişim kurma ve bağlanma kaynaklarını yitirirler (sosyal medya), bir web sitesi ziyareti sonucunda elde edilen bulguları bir müşteriye veya bir satın alma sürecine dönüştüremezler (müşteri dönüşümü) ve hangi dijital yaklaşımların kurumların en aktif şekilde varolduğunu göremeyebilirler (analitik). (Royle ve Laing, 2014).

Bugün ülkemizde sağlık hizmeti sunumunun hem özel sektörde hem de kamu sektörü tarafından sunuluyor olması dijital pazarlama becerilerinin değerlendirilmesi konusunda farklı iki durumun varolmasına neden yarattığını konuşmak mümkündür. Özel sağlık hizmeti sunucusu kuruluşlarının pazarlama uygulamalarına daha çok ağırlık verdiği düşünüldüğünde; özel sağlık hizmeti sunucusu kuruluşların dijital pazarlama beceri eksiklerinin kamu sağlık hizmeti sunucusu kurumlara oranla daha az olduğunu görmek mümkün olmaktadır. Ancak bu durumun net bir şekilde ifade edilebilmesi için araştırmalara dayandırılması gerekmektedir (Çele, 2018) .

### **Mobil Cihazlara Uygun Web Siteleri**

Google tarafından yapılmış olan çalışmaya göre, 3 hastadan en az 1 tanesi akıllı telefon veya tablet adını alan teknolojik aletleri kullanmaktadır. Randevular veya randevuların tıbbi talepleri ile ilgili her türlü aramalar mobil aygıtlardan yapılmaktadır. Bu sebeple, bir sağlık kuruluşunun sitesi hazırlanırken mutlaka mobil cihazlarla uyumlu özellikte olmasına dikkat edilmelidir. Bu sayede etkileşim düzeyini yükseltir ve daha fazla insan kazanımı sağlayabilirsiniz.

## Arama Motoru Optimizasyonu-SEO

Birçok alanda olduğu gibi sağlık alanında da Arama Motoru Optimizasyonu en etkili olan pazarlama tekniklerinden biridir. Potansiyel müşteriler, Arama Motoru Optimizasyonunu geliştirmek adına sağlık bakımında uzmanlığa gerek duymaktadır; bu sayede hasta web'de dolaşabilir ve onlara ulaşabilir. Eğitim içeriğiyle çokça sayıda kullanıcıya uygun ve ilgili anahtar kelimelerle ulaşarak etkili pazarlamayı arttırarak sonuç elde etmek mümkün olabilir. (Zengin, 2017)

## Sağlık Sektöründe Dünya'da Medikal Dijital Pazarlama Uygulamaları

Google'ın araştırmasına göre her 3 hastaneden en az bir tanesinin akıllı telefonlara uygun web siteleri bulunmaktadır. Hastanelerin web sitelerinde anahtar kelime arama yerleri ile hedef kitleye kolaylık sağlanır. Hastanenin pazarlanması bu şekilde arttırılır (Zenfin & Can, 2017). Hastanelerin web sitelerinin İngilizce olması, uluslararası olarak hastanenin tanınmasını sağlamaktadır. Hastanelerin geleneksel pazarda uyguladığı ağızdan ağıza pazarlaması, dijital pazarlamada sosyal medya ile sağlanmaktadır. Belli bir hizmeti talep eden insanlar bilgiyi yalnızca sosyal medyadaki yakınlarında değil hastaneyi takip eden diğer bireylerden de bilgi edinirler (ÖKSÜZ & ALTINTAŞ, 2017).

Arkansas eyaletinde bulunan Willins-Knightop sağlık sistemi pazarlama iletişiminde dijitalleşmeye yönelmektedir. Willis-Knighton Memorial Hastanesi 1970 de billboard la reklame başlayan hastane günümüz medyasında halkın ilgisini çeken hikayecilik, yenilikçi profiller kullanarak yeni tanıtılan tıbbi teknoloji ve yeni oluşan pazar alanında yer edinmiştir. Hastane yöneticileri dijital reklam panoları oluşturdu. Hastane, hedef kitlesiyle iletişimi dijital panolar sayesinde geleneksel pazarlamaya göre daha iyi kuruyor. Çünkü bu hastane 24 saat boyunca istediği reklamı verebiliyor, talebe göre anlık mesaj değiştiriyor, mesajlaşma için medya firmalarına daha az bağımlılık sağlamaktadır bu faktörler kuruma birçok yarar sağlıyor. Ancak bazı mali sorunlar ve halkın o anki görüşlerini bilememenin getirdiği sorunlar olabiliyor. (Elrod & Fortenberry Jr., 2018)

Arizona da bulunan *Mayo Clinic* deki tıp uzmanlarını sosyal medyada aktif bir kullanıcı olarak mobil ve hastane ortamına katmışlardır. Bu durum ayrıca hekimlerin markalarını kontrol etmeye başladıklarını gösterir. Hekimler sosyal medya sitelerinin de tıp uzmanları ile iletişim kurarlar ve uzmanlık- eğitim alanlarının tanımlanmasını sağlarlar. Sağlık hizmeti talep edenler hekimlerin uygulamalarını takip ederler, hastanın sağlık uzmanları ile ilk iletişimi 'hasta deneğimi' hastaneye gelmeden dijital ortamda sağlanmaktadır (John T. Wald, Farris K. , & Kotsenas, 2017).

Kaliforniya da dijital sağlık hizmetleri alanında bazı çalışmalar yapılmıştır. İlk çalışma engelli bireylere önceden var olan sistemi kullanması için yeni bir servis oluşturmaktır. Bireyler bir alana toplandı ve yeni bakıcılar alınmadan başlangıç servis programını destekleyen internet üzerinden uzaktan servis sağlandı. İkinci çalışma kronik cilt hastalığı olan bireylere alternatif bir hizmet olarak Case A bir cihaz rehberi verildi. Bireyler bu sayede evde kendileri ile ilgilenerek telesağlık uygulamasını kullanabiliyorlar. (Muhos, Saarela, Foit Jr, & Rasochova, 2018)

İspanyadaki hastanelerin özel hastane ve kamu hastanelerindeki internet kullanımına bakıldığında burada da özel hastanelerdeki internet kullanımı fazladır. Hastanelerin sosyal medyadaki varlığı diğer ülkelere göre düşük olsa bile sosyal medyadaki etkililiği hızla artmaktadır. Hastanelerde sosyal medya ile ilgili eğitim görülerek etkililikleri arttırılmaya çalışılmaktadır. Facebook ve YouTube da bulunan hastalar sayesinde hastaneler, hizmet kalitesini kontrol edebiliyorlar (Llatas, Millana, Bilbao, Salcedo, & Salcedo, 2017).

ABD' de yetişkin ve çocuk hastaneleri sosyal medya kullanımına bakıldığında sosyal medyayı aktif olarak kullananların ABD News'de daha önlerde olduğu görülmektedir. Ayrıca sosyal medyayı iyi kullanan hastaneler daha itibar sahibi hastaneler olarak kabul edilmektedir. Dünyadaki en iyi hastaneler sıralamasına sosyal medyayı en iyi kullanan hastaneler girmektedir. (Triemstra, Poeppelman, & Aror, 2018)

Amerika'da HealthOnTheNetFoundation Code gibi arama çubukları ve sosyal medya bireylerin özel bilgileri, eczanelerin bazı bilgilere ulaşması gibi sorunlar oluşturabilmektedir. ICANN gibi sağlık uygulayıcıları dijital sağlık uygulamalarını güvenilir hale getirmek için çalışmalar yapılmıştır. Ancak yapılan nu çalışmada halk sağlığı uygulamalarının da dijitalleşmesi ile toplum sağlığının daha iyi olacağı vurgulanmaktadır (Mackey, Liang, Kohler, & Attara, 2014).

Kanada da hamile kadınlar sağlık uzmanları ile yapılan görüşmelerin yetersiz olduğunu ve web den nu konu ile ilgili destek aldıklarını belirtmiştir. Kadınlar web 'in yanında Facebook da dâhil sosyal medyayı kullanıyorlar. Kadınların elde ettikleri bilgilerin tümünün güvenilir olamayacağı için sağlık kuruluşları düşük maliyetli, güvenilir bilgiler içeren dijital bir sağlık platformu oluşturdu. Kadınlar bu alanlara yönlendirilerek sağlık kuruluşlarının da pazarlaması yapıldı (Graham, Jocelyn E , ve diğerleri , s1-10).

## Sonuç

Pazarlama gelişen teknolojiye ayak uydurarak dijitalleşmeye gitmiştir. Sağlık kuruluşları da değişen sektörde varlığını sürdürmek için dijitalleşme pazarlamasına ayak uydurmuştur. İnsanların sabırsız bir şekilde anında hizmet talebi, dünyada olan diğer hizmetleri görme olanakları dijital pazarlamanın hızla yükselmesini sağlamıştır. Dijital pazarlamayı kendine uydurabilen kurumlar, kurumun insanlar arasında tanınmasını, prestij sağlamasını, kalitesini arttırması ve maliyetleri düşürmesi gibi bir çok imkan sağlamaktadır. Son yıllarda meydana gelen çeşitli değişimler sayesinde (teknolojinin ilerlemesi, maliyetlerde azalmaların olması ve tüketicinin bilinç seviyesi artması gibi) gelişmişlik düzeyi artmasıyla vizyon ve misyonlarımız da değişiklikler meydana gelmiştir. Bu gelişmeler sayesinde iletişimin etkin olmasıyla internet gibi iletişim ağlarının kullanılması hem sağlık sektöründe hem de diğer sektörler açısından gelişme göstererek pazarlama alanlarının daha geniş açıdan ele alınmasıyla dijital pazarlama gündeme gelmiştir. Bu pazarlama alanında devamlılığını sağlayıp rekabeti arttırmak için doğru, hızlı, ikna edici, etkileyici gibi özellikleri ele almaktadır. Sağlık sektörünün diğer sektörlerden farklı ve hayati öneme sahip olduğu için pazarlama olanakları da farklılık göstermektedir. Dijital pazarlamayla birlikte



sağlık alanında hastaların hastaneye gitmesine gerek kalmadan gerekli önlemlerin alınması ve bu sayede hem zaman hem de maliyet açısından avantaj sağlamakla birlikte kişiye özel tedavi yöntemleri uygulanacaktır

## Kaynakça

- Akar E. Ve Kayahan C., Elektronik Ticaret Ve Elektronik İş, Nobel Yayın Dağıtım, İstanbul, 2007
- Bilge A. Ve Göksu N., Tüketici Davranışları, Özbaran Ofset Matbaacılık, Ankara, 2010
- Çetin L., Sağlık Hizmeti Veren Kurumlarda Güncel Pazarlama Teknikleri, Yüksek Lisans Tezi, Sivas, 2018
- Gülmez, M., İnternet Üzerinde Ağzdan Ağıza Pazarlama Uygulama Örnekleri, İuyd, Cilt: 2, Sayı: 1, 2011
- Gülmez Mustafa Ve Dörtüoğlu İbrahim Taylan, "The Paths From Service Quality Dimensions To Customer Loyalty: An Application On Supermarket Customers", Management Research Review, 2013
- Griffith E., "The Well-Management Healthcare Organization", Aupha Press, Chicago 1995
- Haşiloğlu B., Elektronik Posta İle Pazarlama, Beta Yayıncılık, İstanbul, 2006
- Moon M. Ve Millison D., Ateşten Markalar (Çev. T. Kalkay), Kapital Medya A.Ş. İstanbul, 2003
- Royle J. Ve Laing A., The Digital Marketing Skills Gap: Developing A Digital Marketer Model For The Communication Industries, International Journal Of Information Management, 2014
- Tosyalı H. Ve Sütçü C.S., Sağlık İletişiminde Sosyal Medya Kullanımının Bireyler Üzerindeki Etkileri, Maltepe Üniversitesi İletişim Fakültesi Dergisi, 2016
- Yönder Karabeyoğlu D., Türkiye’de Dijital Pazarlamada Marka Ve Tüketici İlişkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, 2018,
- Yükselen C., Pazarlama İlkeler-Yönetim Örnek Olaylar, Detay Yayıncılık, Ankara, 2016
- Zengin S., Türkiyedeki Özel Hastanelerin Dijital Pazarlama Faaliyetleri Ve İnternet Sitelerinin Pazarlama Amaçlı Kullanım Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul,2017
- Graham, J., Moore, J., Bell, R., & Miller, T. (2019). Digital Marketing To Promote Healthy Weight Gain Among Pregnant Women İn Alberta: An Implementation Study. 1-10.
- Alabay, Y. M. (2010). Gelineksel Pazarlamadan Yi Pazarlama Yaklaşımlarına Geçiş Süreci. *Dergipark*, 2013-235.
- Çabuk, P. D., & Yrd.Doç.Dr. Mehmet İ. Yağcı. (2003, Eylül). Pazarlamanın Tanımı Ve Gelişimi. *Pazarlamaya Çağdaş Yaklaşım* (S. 2). İçinde Ankara: Nobel.
- Çinibulak, M. (2018). Hastane Yöneticilerinin Sağlık Hizmetleri Pazarlamasında Dijital Pazarlama Yaklaşımının Kullanımına Yönelik Görüşlerinin Değerlendirilmesi. *Hastane Yöneticilerinin Sağlık Hizmetleri Pazarlamasında Dijital Pazarlama Yaklaşımının Kullanımına Yönelik Görüşlerinin Değerlendirilmesi*, 21-29. Ankara: Türkiye Sağlık Bilimleri Ve Araştırmaları Dergisi.
- Elrod, J. K., & Fortenberry Jr., J. (2018). Healthcare Establishments As Owneroperators Of Digital Billboards: Making The Most Of Excellent Roadside Visibility And High Traffic Counts To Better Connect With Patients. 30-48.
- G, R., M, S., Cm, G., M, H., Ia, B., & Vl, P. (2017). The Adaptation Of Health Care Marketing To The Digital Era. 44-46.
- John T. Wald, J., Farris K. , T., & Kotsenas, A. (2017). Managing Physicians' Medical Brand. 92, 685-686.
- Llatas, C. F., Millana, A. M., Bilbao, I. B., Salcedo, M. T., & Salcedo, V. T. (2017). Evaluating The Social Media Performance Of Hospitals İn Spain: A Longitudinal And Comparative Study. 1-11.
- Mackey, T. K., Liang, B., Kohler, J., & Attara, A. (2014). Health Domains For Sale: The Need For Global Health Internet Governance. 1-11.
- Muhos, M., Saarela, M., Foit Jr, D., & Rasochova, L. (2018). Management Priorities Of Digital Health Service Start-Ups İn California. 43-62.
- Öksüz, D. D., & Altıntaş, D. (2017). Sağlık Turizmi Ve Dijital İletişim. *Sağlık Turizminde Dijital İletişim Kanallarının Kullanımı*, 59-75. Journal Of Travel And Hospitality Management.
- Özdaş, N., & Canan, P. D. (2017). Dijital Pazarın Yararları. *Dijital Pazarlamada Marka Yönetiminin Önemi Ve Hızlı Tüketim Sektörüne Yönelik Bir Uygulama*. İstanbul: Üsküdar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Triemstra, J., Poepelman, R. S., & Aror, V. (2018). Correlations Between Hospitals’ Social Media Presence And Reputation Score And Ranking: Cross-Sectional Analysis. (11).
- Yeşil, G., & Özgül, P. (2018). Dijital Pazarlamanın Gelişimi. *Dijital Pazarlama Faaliyetlerinin Verimliliğinin Karşılaştırılmalı Analiz*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü .
- Zengin, S., & Can, P. (2017). Hastanede Dijital Pazarlama. *Türkiyedeki Özel Hastanelerin Dijital Pazarlama Faaliyetleri Ve İnternet Sitelerinin Pazarlama Amaçlı Kullanım Analizi*, 30-31. İstanbul: Bahçeşehir Üniversitesi.





# **Betonların Aşındırma ve Karbonatlaşma Performanslarına Kireçsi Uçucu Küllerin Farklı İncelik ve İkame Oranlarının Etkisi**

Demet Demir Şahin<sup>1\*</sup>, Mustafa Çullu<sup>2</sup>, Hasan Eker<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Gümüşhane Meslek Yüksek Okulu, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, Gümüşhane, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0338-6562)

<sup>2</sup> Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0454-7949)

<sup>3</sup> Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2644-4681)

(İlk Geliş Tarihi 1 Aralık 2019 ve Kabul Tarihi 31 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.654733)

**ATIF/REFERENCE:** Şahin, D. D., Çullu, M. & Eker, H. (2019). Betonların Aşındırma ve Karbonatlaşma Performanslarına Kireçsi Uçucu Küllerin Farklı İncelik ve İkame Oranlarının Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1150-1163.

## **Öz**

Bu çalışmada Afşin Elbistan/ Kahramanmaraş termik santral atığı C tipi uçucu kül (UK) kullanılmıştır. Bu kül öğütülmüş ve 6 farklı incelik değeri elde edilmiştir. Uçucu küle ait değişik incelik değerleri ile betonda çimento yerine % 10, % 30 ve % 50 ikame oranlarında kullanılarak katkı ve uçucu kül katkısız referans beton örnekleri hazırlanmıştır. Sertleşmiş beton örnekleri üzerine uçucu kül incelik değerinin etkisini belirlemek için aşınma ve karbonatlaşma direnci deneyleri yapılmıştır. Aşınma direnci ASTM C 944-99 standardında ifade edilen Rotating Cutter yöntemine göre 28, 56 ve 90 günlük kür süresini tamamlamış beton örnekleri üzerine uygulanmıştır. Karbonatlaşma direnci için örnekler 360 gün karbondioksit miktarı yoğun bir ortama bırakılmış ve karbonatlaşma derinliği belirlenmiştir. Elde edilen deney sonuçlarına göre; % 10 ve % 50 uçucu kül ikameli beton numunelerinde öğütme süresinin yarmada çekme dayanımı üzerinde pek fazla etkili olmamış, ama referans numuneye göre uçucu kül ikamesinin dayanımı artırdığı anlaşılmıştır. Ayrıca % 30 uçucu kül ikameli beton numunelerinde öğütme süresinin yarmada çekme dayanımını çok az artırdığı görülmektedir, ancak bu karışım oranında referans numunenin elde ettiği dayanım değerinin altında değer almıştır. Beton karışımlarına ikame edilen uçucu kül oranlarının artmasıyla birlikte karbonatlaşma derinliği artmıştır. En yüksek karbonatlaşma derinliği değeri 0, 20, 30 ve 45 dakika öğütme sürelerine sahip % 50 UK ikameli beton örneğinde (1,0 cm), en düşük karbonatlaşma derinliği değeri (0.3 cm) ise 10 ve 45 dakika öğütme süresine sahip % 10 UK ikameli beton örneklerinde elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; beton karışımlarında kullanılan UK'ün öğütme süresinin karbonatlaşma derinliği üzerinde pek fazla değişikliğe neden olmadığı görülmüştür. % 10, 30 ve 50 UK ikameli beton karışımları içerisinde en fazla aşınma miktarı 28 günlük kür süresinde meydana gelmiştir. % 10 UK ikameli beton karışımında öğütme süresi arttıkça 28 günlük kür süresi numunelerinin aşınma miktarlarında genel olarak arttığı söylenebilir, ama 56 ve 90 günlük kür sürelerinde pek etkisi olduğu söylenemez. Diğer UK ikame oranlarında (% 30 ve 50) öğütme süresinin artmasıyla 28, 56 ve 90 günlük kür süresine sahip numunelerinin aşınma miktarlarında belirgin bir değişiklik gözlemlenmemiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Uçucu kül, C tipi, Beton, Aşınma direnci, Karbonatlaşma derinliği, Yarmada çekme dayanımı.

## **The Effect of Different Fineness and Substitution Ratios of Liny Fly Ashes on Abrasion and Carbonation Performance of Concrete**

### **Abstract**

Afşin Elbistan / Kahramanmaraş thermal power plant waste C type fly ash (UK) was used in this study. This ash was ground and 6 different fineness values were obtained. With different fineness values of fly ash, reference concrete samples with and without fly ash

\* Sorumlu Yazar: Gümüşhane Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, Gümüşhane, Türkiye, ORCID: 0000-0003-0338-6562, [demetdemir2929@hotmail.com](mailto:demetdemir2929@hotmail.com)

admixture were prepared by using 10%, 30% and 50% substitution rates instead of cement in concrete. Abrasion and carbonation resistance tests were performed to determine the effect of fly ash fineness on hardened concrete samples. Abrasion resistance was applied on concrete samples which have completed curing time of 28, 56 and 90 days according to Rotating Cutter method stated in ASTM C 944-99 standard. For carbonation resistance, the samples were left in a dense medium for 360 days and the carbonation depth was determined. According to the experimental results obtained; In 10% and 50% fly ash substitute concrete samples, grinding time did not have much effect on bending strength, but it was found that fly ash substitution increased the strength according to the reference sample. Furthermore, it is seen that the grinding time increases slightly the tensile splitting strength in 30% fly ash substitute concrete samples, but this mixture ratio is below the resistance value obtained by the reference sample. The depth of carbonation increased with the increase of fly ash content added to concrete mixtures. The highest carbonation depth value is in the 50% UK substituted concrete sample (1.0 cm) with 0, 20, 30 and 45 minutes grinding time, the lowest carbonation depth value (0.3 cm) is 10% UK substituted with 10 and 45 minutes grinding time concrete samples. According to the results obtained; It was found that the grinding time of UK used in concrete mixtures did not cause much changes on the carbonation depth. The maximum wear rate in the 10, 30 and 50% UK substituted concrete mixtures occurred during the curing period of 28 days. It can be said that the 28-day curing time increases the wear amount of the samples as the grinding time increases in the 10% UK-substituted concrete mixture, but it is not very effective in curing times of 56 and 90 days. In other UK substitution rates (30 and 50%), it cannot be said that the abrasion amounts of the samples with a curing time of 28, 56 and 90 days are increased as the grinding time increases.

**Keywords:** Fly ash, Type C, Concrete, Abrasion resistance, Carbonation depth, Flexural strength

## 1. Giriş

Beton içerisinde kullanılan çimento üretim aşamaları boyunca maliyeti ve enerji tüketimi yüksek bir bileşendir. Üretimi boyunca büyük çevresel sorunların oluşmasına neden olmaktadır. Betonun temel bileşenleri çakıl, kum, su ve portland çimentosudur. Çimento ağırlıkça sadece % 10 - 15 oranında beton içermesine rağmen, betonun çevresel etkilerinin çoğundan sorumludur. Çimento üretimi sonucu yüksek oranda CO<sub>2</sub> gazı açığa çıkmaktadır. Dünya çapında oluşan toplam karbondioksitin (CO<sub>2</sub>) % 6 - 7'si Portland çimentosu üretimi sırasında oluşmaktadır (Siddique vd., 2007). Ancak katkılı çimento kullanılarak CO<sub>2</sub> gazı yayılımını yaklaşık olarak % 13 - 22 oranında azaltabilmektedir (Rashad, 2015). Ayrıca Dünya nüfusunun artması ve buna paralel olarak konut ihtiyacının doğması beton ve çimentoya olan ihtiyacı gün geçtikçe artırmaktadır. Bu yüzden çimento yerine beton bileşiminde kullanılabilen ucuz, kolay temin edilebilen, betonun özelliklerini teknik bakımdan destekleyen, düşük enerji tüketimine sahip ve çevreci bir beton üretimine katkı sağlayacak alternatif kaynak arayışlarına yönelinmektedir (Archarya ve Patro, 2016).

Uçucu kül betonda çimento yerine yaygın olarak kullanılan termik santral bacalarından doğaya yayılan atık bir üründür (Siddique ve Khatib, 2010). Ekonominin ve dünyanın büyümesi sonucu fosil yakıtla üretilen enerji miktarının artmasıyla birlikte çevresel anlamda atık olan uçucu kül miktarlarında artmaktadır (Rashad, 2015). Beton içerisinde uçucu kül kullanılması termik santrallerden kaynaklı çevresel problemlerin ve elektrik maliyetinin azalmasını yanı sıra katı atık miktarında azaltmaktadır. Böylece çimento üretiminden kaynaklı sera gazı miktarı düşmekte ve doğal hammadde kaynaklarının önemli miktarının korunması sağlanmaktadır (Mehta, 1993; Erdoğan, 1997). Ekonomik olarak betonda çimento yerine uçucu külün kullanılması betonun dayanım ve durabilite özelliklerini geliştirmektedir. Çimentoya kıyasla uçucu kül içeren beton daha az su gereksinimine sahip olmakta ve soğuk havalarda kolaylıkla kullanılabilir. Ayrıca betonun priz başlama ve bitiş sürelerini geliştirmeye, basınç dayanımını arttırmaya (uzun dönem daha etkili), işlenebilirliği geliştirmeye, geçirimsizliği ve terlemeyi azaltmaya, hidrasyon ısısını düşürerek çatlak oluşumunu engellemeye, su/çimento oranını azaltmaya büyük oranda katkı sağlamaktadır (Siddique, 2004).

Karbonatlaşma beton bileşimine zarar veren kimyasal bir olaydır. Karbonatlaşmanın beton üzerinde zararlı etkisi betonun pH değerinin düşmesi ile betonarme demirlerinin korozyonu üzerinde olumsuz etki oluşturmaktadır. Betonda karbonatlaşma olayı beton bileşimine (agrega, su, çimento, mineral katkılar ve kimyasal katkılar), boşluk suyu, nem, geçirgenlik, betonun yalıtım özelliğine, beton sınıfına, zaman ve paspayı kalınlığı gibi faktörlere bağlıdır (Ramyar, 2007). Betondaki karbonatlaşma olayı çimento hamuru sertleştikten sonra CO<sub>2</sub> ile reaksiyona girmesi ve uzun bir süre reaksiyonun devam etmesi sonucu karbonatlaşma olayı gerçekleşmekte ve bunun sonucunda betonda büzülme meydana gelmektedir. Büzülme olayı özellikle bağıl nem oranı % 50 seviyelerinde olması durumunda gerçekleşmektedir. Bu orandan daha yüksek bağıl nem miktarında betonun gözeneklerinin su ile dolması ve CO<sub>2</sub> gazının hamurun içerisine girmesi engellenerek karbonatlaşma olayı gerçekleşmemektedir. Karbonatlaşma olayı ilk olarak betonun yüzeyinde başlamakta olup ağ çatlaklar şeklinde ilerleyerek betonun dayanımının düşmesine neden olur. CO<sub>2</sub> bakımından zengin bir ortama maruz kalmış betonlarda çatlak derinlikleri yüzeysel olmayıp daha derinlere doğru ilerlemesi ile beton içerisinde bulunan donatı çeliğinin zarar görmesine de neden olmaktadır (Akman, 1992). Betona zarar veren karbonatlaşma olayını daha az seviyelerde tutabilmek için yapılması gereken en önemli işlev geçirimsiz betonlar üretmekle mümkün olabilmektedir. Geçirimsiz beton üretmek filler (dolgu) etkisine sahip malzeme kullanımı ile sağlanmaktadır. Bunun için betonda geçirimsizlik büyük oranda mineral katkılarının kullanımı ile gerçekleştirilmektedir. Mineral katkı olarak betonda kullanılan yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı gibi malzemeler çimentoya kıyasla daha çok geçirimsizlik sağlamakta, Ca(OH)<sub>2</sub>'ı bağlanmakta ve ortamın pH değerini düşürerek karbonatlaşma derecesini düşürmektedir. Ayrıca bu gibi malzemeler ince taneli olması ve çimento miktarını azaltması sonucu boşlukları daha iyi doldurarak

geçirimsizliği arttırmaktadır (Papadakis vd., 1991; Ruixia, 2010; Limbachiya vd., 2012; Erdoğan, 2003). Ortamda bulunan reaktif nem oranı % 50 civarında olması karbonatlaşmayı artırırken % 25'den az ve % 100 olması durumunda karbonatlaşma gözlemlenmemektedir. Bir betonda karbonatlaşmanın oluştuğunu belirlemek için taze beton yüzeyinden koparılan parçanın yüzeyine phenolphthalein uygulandığında renk değişimi pembe olduğu durumda karbonatlaşma gerçekleşmediği renksiz durumda karbonatlaşmanın olduğunu göstermektedir. Betonun yüzeyinde mikro çatlakların sayısının ve geçirimsizlik özelliğinin artması karbonatlaşma derinliğinde arttıracaktır. Mineral katkıları özellikle beton geçirimsizliği üzerine etkili olup betonda kullanılan mineral katkıların kimyasal özelliğine ve tane boyutuna göre geçirimsizlik özelliğini etkilemektedir (Topçu, 2006, Subaşı vd., 2011). Ayrıca sıcaklığın artması ile karbonatlaşma olayı da artmaktadır. Çünkü sıcaklık artışına bağlı olarak CO<sub>2</sub> molekülleri betonun boşluk çözeltisinde yayıldığı için malzemelerin göç etmesine ve kimyasal olarak karbonatlaşma olayının oluşmasına neden olur. Karbonatlaşma olayı oluşumunda betonun içerisindeki boşluk yapısının yüksek olması beton içerisine CO<sub>2</sub> gazı girişinin kolay ve fazla olmasını sağlamaktadır. Bu gazın pasta içerisinde olması ile pastada bulunan Ca(OH)<sub>2</sub>'i CaCO<sub>3</sub> dönüştürerek pH değerini düşürür ve karbonatlaşmanın oluşmasına neden olur (Da Silva ve De Oliveira Andrade, 2017; Ruixiq, 2010).

Beton bileşiminde uçucu kül kullanımı, çimento ile puzolanların reaksiyona girmesi sonucu silisyum hidroksit oluşması ile çimento bileşenlerini bağlayarak çimento miktarını azaltır ve beton dayanımının artmasına katkı sağlamaktadır. Uçucu küller bazen betonda karbonatlaşma oluşumuna katkı sağlayarak korozyon gelişimine sebep verebilmektedir. Bu yüzden kalsiyum hidroksit (CH ya da Ca(OH)<sub>2</sub>) ve kalsiyum silika hidrat (CSH) oluşum sürecinin iyi anlaşılması gerekmektedir. Karbonatlaşma olayı, CH, CS yapılarından gelen Ca<sup>+2</sup> ve C S H ve hidrate olmuş kalsiyum alimünat yapıları farklı kalsiyum karbonat yapılarının oluşmasına yol açar (Borges vd., 2010). Reaksiyon sonucu oluşan kalsit hacmi CH yapısının hacminden daha büyük olması ve CH yapısının ilk olarak nüfus etmesi poroziteyi düşürmeye ve en içteki karbonat yapısının oluşmasına neden olmaktadır (Borges vd., 2010; Morandau vd., 2014; Reis vd., 2014). Karbonatlaşma görülen örneklerde ağırlık daha fazla olurken, porozite daha düşük ve erken yaşlarda dayanım daha düşük değerler almaktadır (Borges vd., 2010). Bu yüzden düşük poroziteli pastalarda kalsit poroziteyi düşürerek, CO<sub>2</sub>'in içeri girmesini engelleyerek ve karbonatlaşma saldırılarını azaltmaktadır.

Orhaneli Termik Santralinden alınan uçucu külün çimento yerine % 0, % 5, % 10, % 20 ve % 30 oranlarında kullanarak elde ettikleri beton örnekleri üzerinde karbonatlaşma derinliği değerleri incelenmiştir. Buna göre; uçucu kül ikame oranının artmasıyla karbonatlaşma derinliğinin de arttığı sonucuna varılmıştır. Kullanılan uçucu kül çimentoya göre daha ince taneli olmasına bağlı olarak oluşan yerleştirme problemleri sonucu fazla boşluk oluşmasına neden olmuştur. Buna bağlı olarak oluşan boşluk sonucu betonun geçirimsizliği ve karbonatlaşma derinliği artmıştır (Topçu, 2006, Subaşı vd., 2011).

Beton, sertleştikten sonra bileşiminde bulunan bileşenler ve çevresel faktörler tarafından etkilenmeyip dayanım ve diğer özelliklerini koruması durabilite (dayanıklılık, kalıcılık) olarak tanımlanmaktadır. Durabilitesi yüksek olan betonun hizmet süresi de oldukça yüksektir. Sertleşmiş betonun ilk dayanımı yüksek olmasına rağmen dış çevrenin etkisi ile fiziksel ve kimyasal yönden zarar görebilmektedir. Beton; olarak donma - çözünme, aşınma ve ıslanma - kuruma gibi fiziksel etkilerden etkilenmektedir. Betonda dış etkilerden dolayı oluşan çevresel problemler ile mücadele etmede en etkili yöntem geçirimsizlik özelliğinin artırılmasıdır. Geçirimsiz beton kolaylıkla ıslanmayacak ve kimyasal zararlardan etkilenmeyeceği için fiziksel dayanım yönünden aşınma direncini de düşürecektir. Bu yüzden dayanıklı bir beton (iç ve dış etkilere maruz kaldığında değişime uğramadan), mekanik kuvvet haricinde fiziksel ve kimyasal etkilere karşı bozulmadan direnç sağlayabilmektedir (Şahin, 2004). Betonda aşınma olayı, kaldırım ve beton yollarda insan ve trafik kaynaklı oluşmaktadır ve su yapılarında ise akarsuların taşıdığı malzemelere maruz kalması sonucu oluşmaktadır. Aşınma olayı uzun bir süreçte gerçekleşmekte ve yavaş gelişen fiziksel ve mekanik bir olaydır. Betonda oluşabilecek aşınma olayı, betonun kür süresine, mineral katkı kullanımına, basınç dayanımına, su/çimento miktarına, agrega - bağlayıcı hamur kalitesine ve ara yüzey özelliğine bağlıdır. Beton bileşiminde kullanılan mineral katkıları beton içerisinde çimentonun su ile karışması sonucu oluşan hidratasyon ürünü olan Ca(OH)<sub>2</sub> reaksiyona girerek bağlayıcılık kazanmasına ve daha geçirimsiz, yüksek işlenebilirlik özelliğine sahip, uzun dönemdeki basınç dayanımını ve aşınma direncini arttırmaktadır (Bilim, 2011).

Sertleşmiş pastada aşınma direnci oldukça düşüktür. Ayrıca dayanıklı agrega kullanımı ve düşük su/çimento oranının tercih edilmesi uçucu kül katkılı betonlarda aşınma direnci üzerinde oldukça etkilidir. Uçucu külün beton içerisinde kullanılması çimento pastasını geliştirmekte ve zamanla oluşan kalsiyum hidroksitten dolayı da geçirimsizliği azaltmaktadır. Uçucu külün betonda daha iyi bir bağlayıcı özelliğe sahip olması ve çimento pastasının daha yoğun bir yapı haline getirmesi bağlayıcı matriksinin dışında bulunan iri agregaların aşınma direncini azaltmasına neden olmaktadır (Li, 1989). Ayrıca kür süresinin artmasıyla birlikte uçucu kül içeren betonların, içermeyen betonlara göre aşınma kayıpları daha fazla olmaktadır. Buna ek olarak betonun C sınıfı uçucu kül içermesinin, F sınıfı uçucu kül katkılı betonlara göre daha yüksek aşınma dayanım direnci göstermesini sağlamaktadır (Tikal'sky vd., 1988). Langan vd. (1990) çalışmalarında çimento yerine yüksek oranda uçucu kül (% 50) ikame edilmesinin aşınmaya bağlı ağırlık kayıplarının artmasına neden olduğunu ve ağırlık kaybı miktarının uçucu kül içermeyen katkısız betonlara göre daha yüksek değerler aldığını ortaya koymuşlardır. Naik vd., (1995) çalışmalarında ise % 30 ve üzerinde uçucu kül kullanımının beton örneklerinin aşınma dayanım direnci üzerinde

kontrol betonuna göre düşük olduğu ve çok az bir fark olduğunu belirlemişlerdir. Naik vd., (1998) diğer çalışmalarında ise; F ve C tipi uçucu kül karışımlarının bir arada kullanıldığı beton numunelerinin; kontrol beton numuneleri ve sadece C tipi uçucu kül karışımı numunelere göre hem daha iyi sıkışma sağladığı hem de daha yüksek aşınma dayanım direnci sağladıklarını ifade etmişlerdir. Siddique (2003) çalışmasında ise; F sınıfı uçucu külün % 10, % 20, % 30 ve % 40 oranında ince agrega yerine ikame edilmesiyle 28, 91 ve 365 gün sonrasında aşınma direnci değerlerinin uçucu kül içeriğinin artmasıyla birlikte basınç dayanımını ve aşınma direncini arttırdığını ortaya koymuşlardır.

Literatürde F ve C tipi uçucu küllerin çimento yerine farklı oranlarda ikamesiyle hazırlanan beton örnekleri üzerinde aşınma dayanımı değerleri elde edilmişken bu tip küllerin farklı öğütme sürelerindeki aşınma dayanımının belirlenmediği görülmektedir. Ayrıca karbonatlaşma derinliği de sadece farklı ikame oranlarındaki uçucu küller için belirlenmiştir. Farklı öğütme sürelerinin karbonatlaşma derinliği üzerindeki etkisi konusunda herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle çalışmamızda C tipi uçucu kül bilyalı değirmende 0, 10, 20, 30, 45 ve 60 dk sürelerinde öğütülmüş ve beton içerisinde çimento yerine % 10, % 30 ve % 50 gibi yüksek oranlarda ikame edilmiştir. Elde edilen farklı incelik ve ikame oranlı uçucu kül katkılı betonlar ile referans betonun karbonatlaşma ve aşınma dirençleri belirlenmiştir. Elde edilen deney sonuçlarına göre; % 10 ve % 50 uçucu kül ikameli beton numunelerinde öğütme süresinin yarmada çekme dayanımı üzerinde pek fazla etkili olmadığı, ama referans numuneye göre uçucu kül ikamesinin dayanımı artırdığı anlaşılmıştır. Ayrıca % 30 uçucu kül ikameli beton numunelerinde öğütme süresinin yarmada çekme dayanımını çok az artırdığı görülmektedir, ancak bu karışım oranında referans numunenin elde ettiği dayanım değerinin altında değer almıştır. Beton karışımlarına ikame edilen uçucu kül oranlarının artmasıyla birlikte karbonatlaşma derinliği artmıştır. En yüksek karbonatlaşma derinliği değeri 0, 20, 30 ve 45 dakika öğütme sürelerine sahip % 50 UK ikameli beton örneğinde (1,0 cm), en düşük karbonatlaşma derinliği değeri (0.3 cm) ise 10 ve 45 dakika öğütme süresine sahip % 10 UK ikameli beton örneklerinde elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; beton karışımlarında kullanılan UK'ün öğütme süresinin karbonatlaşma derinliği üzerinde pek fazla değişikliğe neden olmadığı görülmüştür. % 10, 30 ve 50 UK ikameli beton karışımları içerisinde en fazla aşınma miktarı 28 günlük kür süresinde meydana gelmiştir. % 10 UK ikameli beton karışımında öğütme süresi arttıkça 28 günlük kür süresi numunelerinin aşınma miktarında genel olarak arttırdığı söylenebilir, ama 56 ve 90 günlük kür sürelerinde pek etkisi olduğu söylenemez. Diğer UK ikame oranlarında (% 30 ve 50) öğütme süresinin artmasıyla 28, 56 ve 90 günlük kür süresine sahip numunelerinin aşınma miktarlarında belirgin bir değişiklik gözlemlenmemiştir (Burayı çıkarım Girişi kısmında sonuç vermesek daha iyi olmaz mı).

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Çalışmada materyal olarak kireçtaşı agregası, çimento, uçucu kül ve Gümüşhane Belediye'si şehir şebeke suyu kullanılarak beton örnekleri üretilmiştir.

#### 2.1.1. Agrega

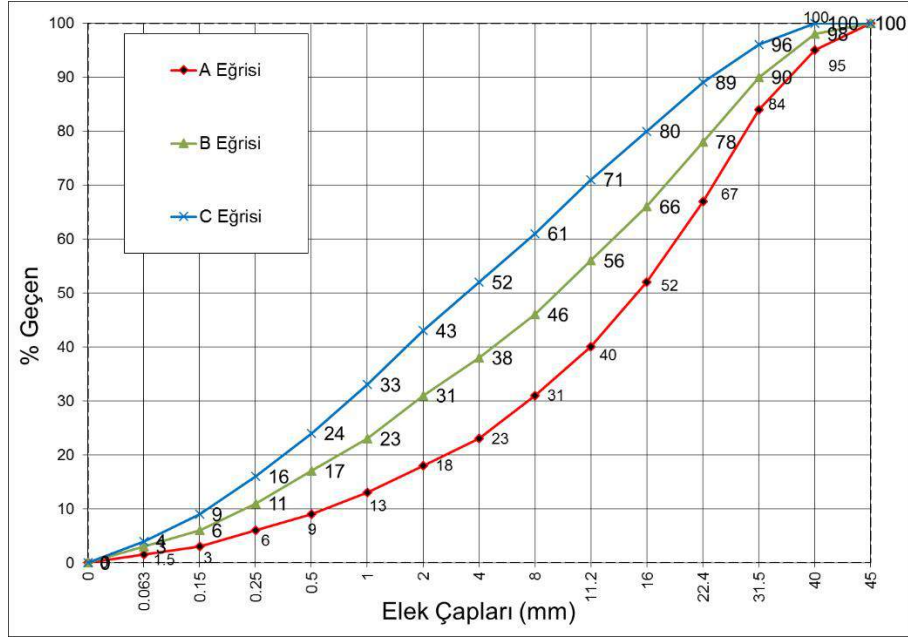
Beton bileşiminde kullanılan agregalar 0 - 4 mm, 4 - 11.2 mm, 11.2 - 22.4 mm boyutlarında gruplandırılmıştır. Bu agregalar Gümüşhane yöresine ait kireç taşlarından oluşmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Beton bileşiminde kullanılan farklı boyutlu agregalar.

Çalışma içerisinde kullanılan kireçtaşı agregalarına ait granülometri eğrileri Şekil 2'de verilmiştir.





Şekil 2. TS 802 standardına göre agregalara ait gronüloметриk eğrileri

### 2.1.2. Çimento

Beton karışımlarında CEM I 42.5 R Portland çimentosu kullanılmış ve Gümüşhane Aşkale çimento fabrikasından temin edilmiştir. Çimentonun kendine özgü fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. CEM I 42.5 R tipi çimentonun özellikleri.

Kimyasal Analizler		Fiziksel Testler	
SiO <sub>2</sub>	18,59	İncelik (45 µ elek üstü %)	8,58
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,69	Özgül Ağırlık ( gr/cm <sup>3</sup> )	3,08
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,04	Özgül Yüzey (cm <sup>2</sup> /gr)	4145
CaO	60,34	Priz Başlangıcı (saat-dk)	2s-33 dk
MgO	1,92	Priz Sonu(saat-dk)	3s-18 dk
SO <sub>3</sub>	2,89	Hacim Genişlemesi(mm)	0,7
Kızdırma Kaybı	7,19	Su İhtiyacı %	29,9
Na <sub>2</sub> O	0,11	Basınç Dayanımı( N/mm <sup>2</sup> )	
K <sub>2</sub> O	0,64		
Cl	0,0189	2.Gün	23,9
Ölçülemeyen	0,57	28.Gün	51,1
Toplam	100		
s.CaO	0,38		
Katkı%	17,87		

Kullanılan çimentonun özgül ağırlığı 3,08 g/cm<sup>3</sup>, özgül yüzey alanı 4145 cm<sup>2</sup>/g, 45 µ elek üstü % 8,58'dir. Kimyasal analiz sonuçlarına göre; kızdırma kaybı % 7,19, Serbest CaO % 0,38, SiO<sub>2</sub> % 18,59, SO<sub>3</sub> % 2,89'dir (Tablo 1).

### 2.1.3. Uçucu Kül

Uçucu kül (öğütülmemiş) Kahramanmaraş İli Afşin Elbistan termik santralinden temin edilmiştir. Uçucu kül içerisinde yanmamış karbon tanelerinden oluşmakta ve koyu kahve renkindedir. Afşin Elbistan uçucu külünün fiziksel ve kimyasal özellikleri Gümüşhane Aşkale Çimento Fabrikası laboratuvarında ilgili deneylerin yapılması ile belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan öğütülmemiş uçucu küle ait kıvama bağlı su ihtiyacı, genleşme ve priz süresi TS EN 196-3+A1 standardına göre belirlenmiştir (Tablo 2).

Uçucu külün farklı öğütme sürelerine (0, 10, 20, 30, 45 ve 60 dk) ait incelik değerleri TS EN 450-1 standardına bağlı olarak blaine incelik değerleri belirlenmiştir. Buna göre 0, 10, 20, 30, 45 ve 60 dk öğütme sürelerinde incelik değerleri sırasıyla 1860 cm<sup>2</sup>/g, 1870 cm<sup>2</sup>/g, 1945 cm<sup>2</sup>/g, 1975 cm<sup>2</sup>/g, 2005 cm<sup>2</sup>/g ve 2030 cm<sup>2</sup>/g olarak elde edilmiştir.

ASTM C 618 standardına göre; S+A+F (SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) toplamı ≥ % 70 ve CaO < % 10 ise F sınıfı (düşük kireçli), S + A + F (SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) toplamı ≥ % 50 ve CaO > % 10 ise C sınıfı (Yüksek kireçli) uçucu kül olarak adlandırılmıştır. Buna göre Afşin



Elbistan uçucu külü S + A + F % 47,40, CaO % 37,84 olup, S+A+F miktarı % 50'den düşük ancak CaO miktarı % 10'dan büyük olduğundan C sınıfı uçucu kül sınıfında yer almaktadır. Kızdırma kaybı % 2,31, Serbest CaO % 4,51 ve 45 µ elek üstü % 50,68 elde edilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Öğütülmemiş Uçucu külün kimyasal ve fiziksel özellikleri.

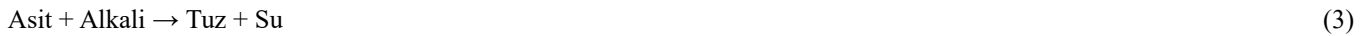
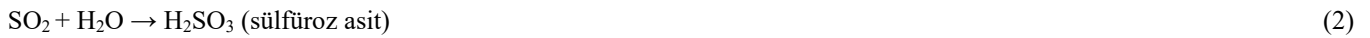
Kimyasal Analiz		Fiziksel Testler	
Bileşen, %	Uçucu Kül	Fiziksel Özellikler	Bileşenler
SiO <sub>2</sub>	29,24	İncelik (45 µ elek üstü %)	50,68
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,49	Özgül Ağırlık ( gr/cm <sup>3</sup> )	2,54
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,67		
CaO	37,84	Özgül Yüzey (cm <sup>2</sup> /gr)	1834
MgO	1,86		
Na <sub>2</sub> O	0,38	Priz Başlangıcı (saat-dk)	2 saat-30 dk
K <sub>2</sub> O	0,69		
SO <sub>3</sub>	4,70	Priz Sonu(saat-dk)	3 saat-15 dk
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,054		
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,059	Hacim Genişlemesi(mm)	0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,494		
TiO <sub>2</sub>	0,49	Su İhtiyacı ( %)	27,4
ZnO	0,001		
KK	2,31	Su miktarı (g)	137
Toplam	96,27		
SCaO	4,51		

## 2.2. Metot

Kullanılan uçucu kül Gümüşhane Üniversitesi, Maden Mühendisliği Laboratuvarındaki bilyeli değirmen kullanılarak öğütme işlemine tabi tutulmuştur. Uçucu külden farklı incelik değerleri elde etmek için 10, 20, 30, 45 ve 60 dk sürelerinde öğütülmüştür. Değirmende numunenin kullanıldığı hazne silindirik boyutta ve 6 lt kapasiteye sahip olup kuru ve toz halde öğütme işlemi yapılmıştır. 66 devir/dk dönme hızında, 1.75, 2, 3, 3.5 ve 4 cm bilya çaplarına sahip ve toplamda 105 adet bilya kullanılarak her bir öğütme süresi için 10 kg uçucu kül malzemesi öğütülmüştür.

Betonda karbonatlaşma olayı kimyasal olarak betonun işlenebilirliğini arttırmak için karışım suyu ilavesi, bunlu olduğu ortamda maruz kaldığı CO<sub>2</sub> ve ortam nemi tarafından gelişmektedir (Özer, 2012).

Betonarme yapılarda meydana gelen karbonatlaşma, kullanılan donatıda korozyona neden olmaktadır. Atmosferde asit oluşturan gazlar (CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub>) karbonatlaşma gelişimini aşağıda belirtilen şekilde gerçekleştirmektedir. Gazların betonun gözenek sistemine işlenmesi ve gözenek suyu ile oluşturduğu reaksiyonlar denklem 1 ve 2'de, oluşan asitlerin gözenek suyu içinde çözülmüş olan çimentonun alkali bileşenleri ile ilgili reaksiyon denklem 3'te verilmiştir (Subaşı vd. 2011).



$$\text{pH} = 12.6 \quad \text{pH} = 8.3$$

Denklem 4'te görüldüğü üzere oluşan kalsiyum karbonatın pH değeri 8.3'tür. pH < 9.5 olması durumunda beton içerisindeki kullanılan çelik karbonatlaşmaya bağlı olarak özelliğini kaybeder. Karbonatlaşma, beton yüzeyinden başlayarak, içeriye doğru ilerlemekte ve yüzeyden 2,5-3,0 cm kadar ki bölgeler karbonatlaşmanın etkisi altındadır. Karbonatlaşmanın gerçekleşebilme hızı, havadaki karbondioksit ve nem miktarına, betonun geçirimsizliğine bağlıdır. Karbondioksit miktarının yüksek olması ve relatif nemin % 50 civarında olması karbonatlaşmayı artırmaktadır. Relatif nemin % 25'den az veya % 100 olması durumunda, karbonatlaşma gerçekleşmemektedir (Subaşı vd. 2011).

### 2.2.1. Uçucu kül Katkılı Betonlarda Karbonatlaşma Derinliğinin Belirlenmesi

Uçucu külün farklı inceliği (1860 cm<sup>2</sup>/g, 1870 cm<sup>2</sup>/g, 1945 cm<sup>2</sup>/g, 1975 cm<sup>2</sup>/g, 2005 cm<sup>2</sup>/g ve 2030 cm<sup>2</sup>/g) ve ikame oranlı (% 10, 30 ve 50) 10 x 20 cm boyutunda silindirik örnekler üzerine 20 ± 5 ° C'de kür havuzunda 28 gün bekletildikten sonra numuneler çıkarılarak laboratuvar ortamında kurumaya bırakılmıştır.

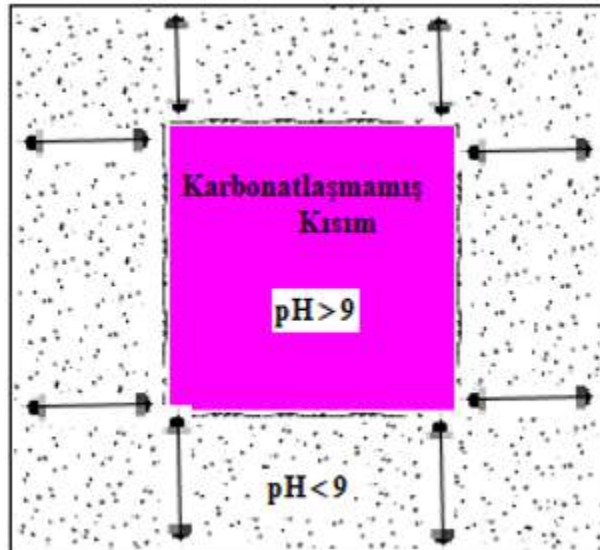
Beton örnekleri normal atmosferde bulunan CO<sub>2</sub> gazından daha yüksek oranda CO<sub>2</sub> gazı bulunan ve % 65 nem içeren ortamda 360 gün bekletilmiştir. Beton numuneleri TS EN 12390-6 standardı esas alınarak yarmada çekme dayanımı testi ile her bir numune iki eşit parçaya bölünmüştür. Karbonatlaşma derinliğinin belirlenmesi için pres yardımıyla ortadan iki eşit bölünen parçalara baz indikatörü olan % 1 phenolphtalein (C<sub>20</sub>H<sub>14</sub>O<sub>4</sub>) ve % 70 etil alkol'de çözülerek hazırlanan çözelti, numunenin iç yüzeyine püskürtülerek numunedeki renk değişimi gözlenmiştir (Şekil 3). Renk değişimi olduğu bölgelerde karbonatlaşma gelişmediği, renk değişiminin olmadığı kısımlarda ise karbonatlaşma meydana geldiği görülmüştür. Buna bağlı olarak renk değişiminin görülmeyen kısımların ölçümleri yapılarak karbonatlaşma derinliği BS EN 13293-2004 (Denklem 5) standartına göre belirlenmiştir.

$$\text{Karbonatlaşma Derinliği} = \frac{A_1 + A_2 + B_1 + B_2 + C_1 + C_2 + D_1 + D_2}{a} \quad (5)$$



Şekil 3. Karbonatlaşma deneyi, numunelerin ortadan ikiye ayrılması, Phenolphtalein (fenol fitalein) çözeltisi püskürtülmesi.

Çözeltinin beton numuneleri üzerine püskürtülmesi sonrasında oluşan renk değişimi kumpas vasıtasıyla ölçülmüştür. Ölçüm yapılan kısımlar Phenolphtalein sonrasında beton yüzeyinde renk değişimi olmayan yani pH değeri 9'un altında olan kısımlardır. Renk değişiminin yaşandığı mor bölgeler betonda alkali olduğu kısımları temsil etmektedir. Renk değişiminin olmadığı bölümler ise beton kısımları karbonatlaşma olayının olduğu kısımları temsil edip karbonatlaşma derinliğinin ölçüldüğü bölümlerdir. Karbonatlaşma derinliği (D) Şekil 4'te gösterildiği gibi renk değişiminin olmadığı kısımlar ölçülerek ortalamasının alınmasıyla sonuç değerleri elde edilmiştir.



Şekil 4. Karbonatlaşma derinliğinin ölçümü.

### 2.2.2. Betonda Aşınma Dayanımının Belirlenmesi

Aşınma dayanımı 10 x 20 cm boyutunda silindirik boyutta farklı incelikte ve ikame oranlarında beton bileşiminde çimento yerine uçucu külün ikame edilmesi sonucu hazırlanan katkılı ve katkısız beton örneklerinin kalıp yüzeyleri üzerine aşınma işlemi uygulanarak belirlenmiştir. Aşınma dayanımı beton örneklerinin 28, 56 ve 90 günlük kür süresi sonunda ve ASTM C 944-99 methoduna göre yapılmıştır. Deneye başlamadan önce kür süresini tamamlamış numuneler kür tankından çıkarılarak laboratuvar ortamında 1 gün kuruması için bekletilmiştir (Şekil 5). Kuruyan numunelerin tartımı alınarak 0 dk ölçüm değeri kaydedilmiştir (Şekil 5). Daha sonra deney numuneleri üzerine 197 N kuvvet uygulanacak şekilde 200 devir/dakika hızında dönen aşındırıcı disk altına 2 dk, 4 dk, 6 dk aralıklarında bırakılmış ve aşınma sonucu ağırlık değişim değerleri ölçülmüştür (Şekil 5).

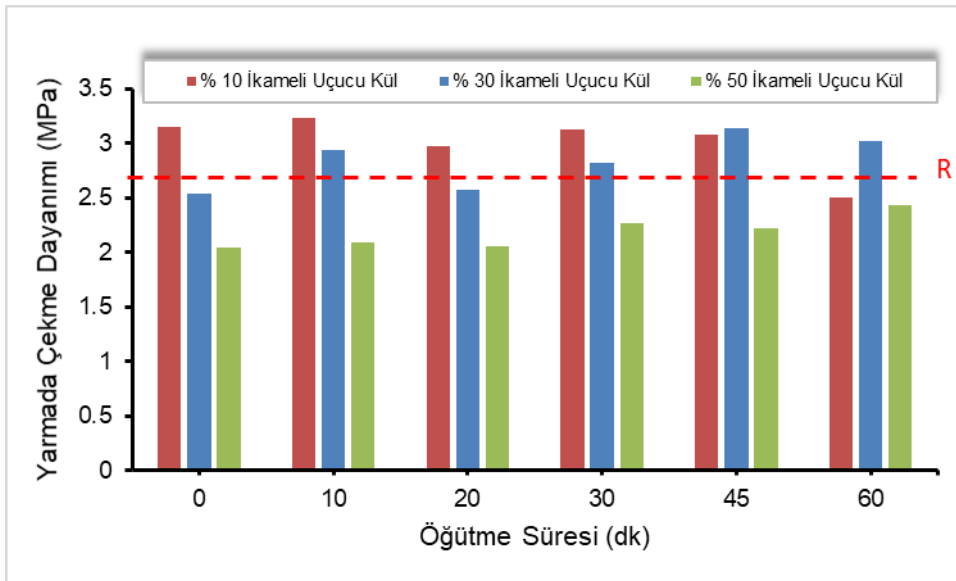


Şekil 5. Aşınma Deneyi; örneklerin laboratuvar ortamında kurutulması, numunelerin tartılması, aşındırma işlemi

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Yarmada Çekme Dayanımı Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Karbonatlaşmaya tabii tutulan prizma şekilli numunelere ait yarmada çekme dayanımı sonuçları Şekil 6'da verilmiştir. Karbonatlaşma numunelerinin arasında en yüksek yarmada çekme dayanımı değeri 10 dakika öğütme süresine sahip % 10 uçucu kül ikameli beton örneğinde (3.24 MPa), en düşük yarmada çekme dayanım değeri ise 0 dakika öğütme süresine sahip % 50 uçucu kül ikameli beton örneğinde elde edilmiştir.



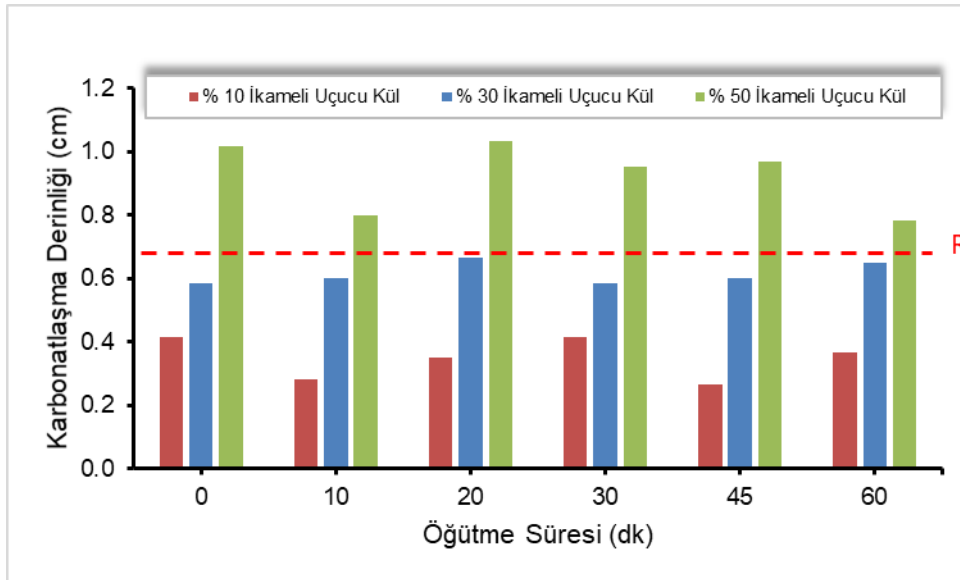
Şekil 6. Yarmada Çekme Dayanımı Sonuçları.

Şekil 6'da görüldüğü üzere uçucu külün ikame miktarı arttıkça 45 ve 60 dakika öğütme süreleri hariç genel olarak yarmada çekme dayanımını azalmaktadır. Ayrıca % 10 ve % 50 uçucu kül ikameli beton numunelerinde öğütme süresinin yarmada çekme dayanımını üzerinde pek fazla etkili olmadığı, % 30 uçucu kül ikameli beton numunelerinde öğütme süresinin yarmada çekme dayanımını artırdığı görülmektedir. Bunlara ek olarak, referans beton numunesinin yarmada çekme dayanımı sonucunu 0 dakika öğütme süresine sahip %

10 uçucu kül ikameli, 10 dakika öğütme süresine sahip % 10 ve % 30 uçucu kül ikameli, 20 dakika öğütme süresine sahip % 10 uçucu kül ikameli, 30 dakika öğütme süresine sahip % 10 ve % 30 uçucu kül ikameli, 45 dakika öğütme süresine sahip % 10 ve % 30 uçucu kül ikameli ve 60 dakika öğütme süresine sahip % 30 uçucu kül ikameli beton karışımlarında geçtiği görülmektedir. Uçucu kül katkı oranının beton bileşimi içerisinde artması yarmada çekme dayanımında düşüşlere neden olmuştur. Günindi (2005) çalışmasında % 0 - % 40 oranında ikame edilen Yumurtalık Sugözü uçucu kül katkılı betonların basınç, yarmada çekme ve çekme dayanımlarını incelemiştir. Elde ettiği yarmada çekme dayanım sonuçlarına göre genel olarak % 10 oranında uçucu kül içeren betonların yarmada çekme dayanımlarının kontrol betonların yarmada çekme dayanımlarıyla çoğunlukta eşdeğere yakın çıkmıştır. % 20 - 40 oranında ikame edilen uçucu kül katkısının yarmada çekme dayanımında düşüşler yarattığını belirlemiştir. Özellikle uçucu kül gibi mineral katkıların karbonatlaşma derinliği ancak uçucu külün tane boyutunun küçültülmesi ile geçirimsiz betonlar üretmekle azaltılabilir. Bu çalışmada uçucu kül için kullanılan farklı öğütme süreleri için elde edilen incelik değeri geçirimsizliği sağlamak için yeterli gelmeyip karbonatlaşma derinliğini uçucu kül ikamesindeki artışa bağlı olarak arttırmıştır. Bunun yanında uçucu külün çimento hidratasyonu sonucu oluşan  $\text{Ca(OH)}_2$ 'i bağlaması sonucu ortamın pH değerini (karbonatlaşma olayının oluşumu için  $\text{pH} < 9$ ) düşürdüğü ve karbonatlaşma derinliğini arttırmıştır (Özer, 2012). Ayrıca çalışmada kullanılan C tipi uçucu kül yüksek kireç içeriğine sahip olduğundan karbonatlaşma görülme oranı çimento hidratasyon ürünlerinden ziyade uçucu külün kendi kimyasal bileşiminden kaynaklanmaktadır.

### 3.2. Karbonatlaşma Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Farklı öğütme sürelerine bağlı olarak belirli oranlarda ikame edilen uçucu kül (UK) içeren beton karışımlarının karbonatlaşma deney sonuçları Şekil 7'de görülmektedir. En yüksek karbonatlaşma derinliği değeri 0, 20, 30 ve 45 dakika öğütme sürelerine sahip % 50 UK ikameli beton örneğinde (1,0 cm), en düşük karbonatlaşma derinliği değeri (0.3 cm) ise 10 ve 45 dakika öğütme süresine sahip % 10 UK ikameli beton örneklerinde elde edilmiştir.

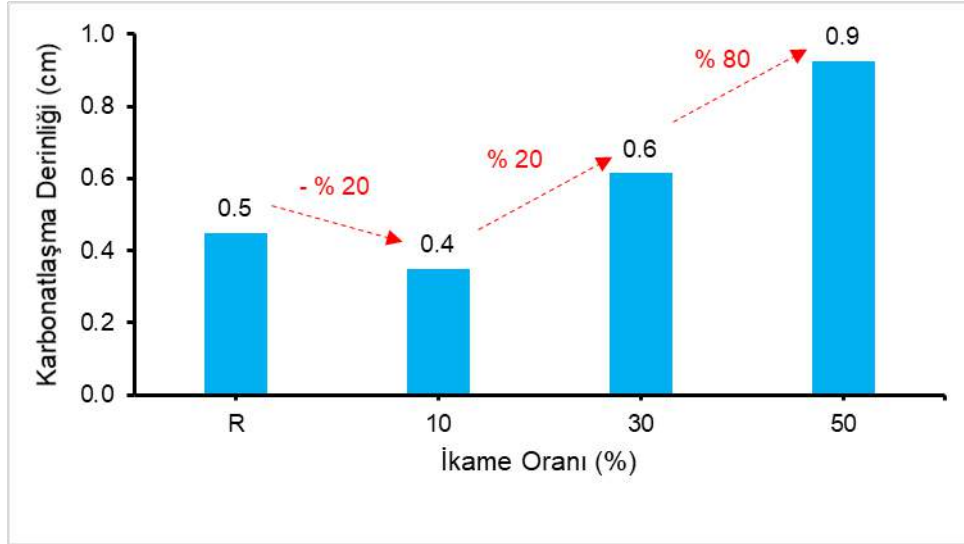


Şekil 7. Karbonatlaşma Sonuçları.

Beton karışımlarında kullanılan UK'ün öğütme süresinin artmasıyla birlikte karbonatlaşma derinliği üzerinde pek fazla değişikliğe neden olmadığı görülmektedir. % 10 ikameli UK içeren beton karışımında 10 ve 45 dakikalık öğütme sürelerinde karbonatlaşma derinliği miktarının düştüğü, % 50 ikameli UK içeren beton karışımında 10 ve 60 dakikalık öğütme sürelerinde karbonatlaşma derinliği miktarının düşmektedir. % 30 ikameli UK içeren beton karışımında ise 20 ve 60 dakikalık öğütme sürelerinde karbonatlaşma derinliği miktarının arttığı görülmektedir. Ayrıca referans beton numunesinin karbonatlaşma derinliği değerini (0,5 cm); 0, 10, 20, 30, 45 ve 60 dakika öğütme sürelerine sahip % 30 ve % 50 UK ikameli beton karışımlarında geçildiği görülmektedir. % 10 ikameli UK beton karışımı ise bu değer altındadır (Şekil 7).

Uçucu külün farklı inceliği (1860  $\text{cm}^2/\text{g}$ , 1870  $\text{cm}^2/\text{g}$ , 1945  $\text{cm}^2/\text{g}$ , 1975  $\text{cm}^2/\text{g}$ , 2005  $\text{cm}^2/\text{g}$  ve 2030  $\text{cm}^2/\text{g}$ ) ve farklı ikame (% 10, 30 ve 50) oranlarıyla hazırlanan beton örneklerinde uçucu kül inceliğinin artması, çimento matrisinin geçirimsizliğini azaltmaya yeterli gelmemiştir. Çünkü uçucu külün 60 dk öğütme sonrasında elde edilen blaine incelik değeri 2030  $\text{cm}^2/\text{g}$  olup 3500  $\text{cm}^2/\text{g}$  çimento blaine incelik değerine göre düşük olması geçirgenlik özelliğini arttırmış, karbonatlaşma direncini ise azaltmıştır.



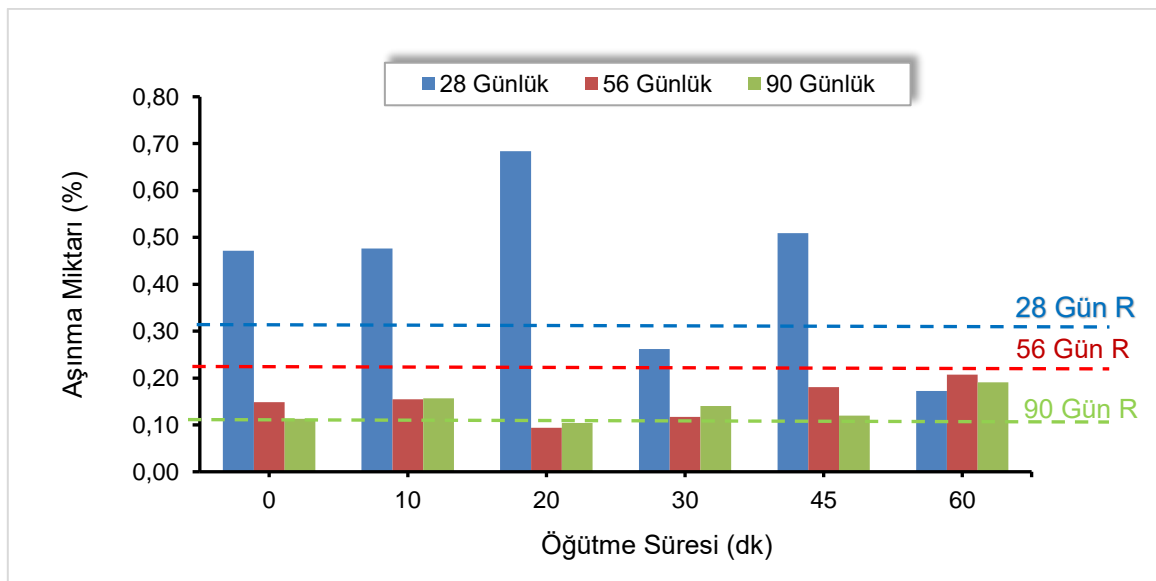


Şekil 8. İkame Oranının Karbonatlaşmaya Etkisi.

Şekil 8’de 0, 10, 20, 30, 45 ve 60 dk öğütülmüş ve beton içerisinde çimento yerine % 10, % 30 ve % 50 oranlarında ikame edilen uçucu külün ortalama değerleri alınarak referans değerine göre artış ve azalış yüzdeleri verilmiştir. UK ikame oranı arttıkça karbonatlaşma derinliğinin % 30 ve % 50 UK ikameli beton karışımlarında arttığı, % 10 ikameli UK beton örneğinde azaldığı görülmektedir. Referans beton numunesine göre UK ikameli beton örneklerinin karbonatlaşma derinliği % 10 UK ikameli beton örneğinde % 20 azalırken, % 30 UK ikamesi karbonatlaşma derinliğini % 20 artırmakta ve % 50 UK ikamesi ise karbonatlaşma derinliğini % 80 artırmaktadır. Yapılan çalışmada uçucu kül inceliğinin karbonatlaşma direnci üzerinde belirleyici bir etki yaratmadığı ancak % 10 ve % 30 uçucu kül katkısı ile hazırlanan beton örneklerinde karbonatlaşma derinliğini referans betona göre azalttığını, % 50 ikame oranında ise artırıcı etki yarattığı gözlemlenmiştir. Ramyar (1993) çalışmasında Türkiye’de birkaç termik santralden aldığı uçucu külleri kullanarak çimento harcının büzülmesi ve betonun karbonatlaşma üzerine etkisini incelemiştir. Beton içerisinde % 10 ve % 20 uçucu kül içeren numunelerin kontrol numunesine yakın ya da daha az karbonatlaşma derinliği göstermişken % 40 oranında uçucu kül kullanımının karbonatlaşma derinliğini arttırdığını göstermiştir. Park, (1995); Mindes, (2002); Beak vd., (2003); Topçu, (2006); Subaşı vd., (2011) çalışmalarında olduğu gibi uçucu kül ikame oranının artmasıyla karbonatlaşma derinliğinin de arttığı görülmektedir. Ancak bazı durumlarda uçucu külün beton içerisinde kullanımı karbonatlaşma direncini artırmaktadır. Özellikle uçucu küllerin daha ince taneli olması erken kür zamanında dolgu etkisi yaparak uzun kür ve iyi kürlenmesi sonucu oluşan C-S-H yapıları sonucu boşlukları doldurması ve geçirimsizliği azalması karbonatlaşma direncini arttırmayada katkı sağlamaktadır (Ruixia, 2010).

### 3.2. Aşındırma Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Farklı öğütme sürelerine bağlı olarak belirli oranlarda ikame edilen uçucu kül (UK) içeren beton karışımlarının aşınma miktarları Şekil 9, 10 ve 11’de verilmiştir.

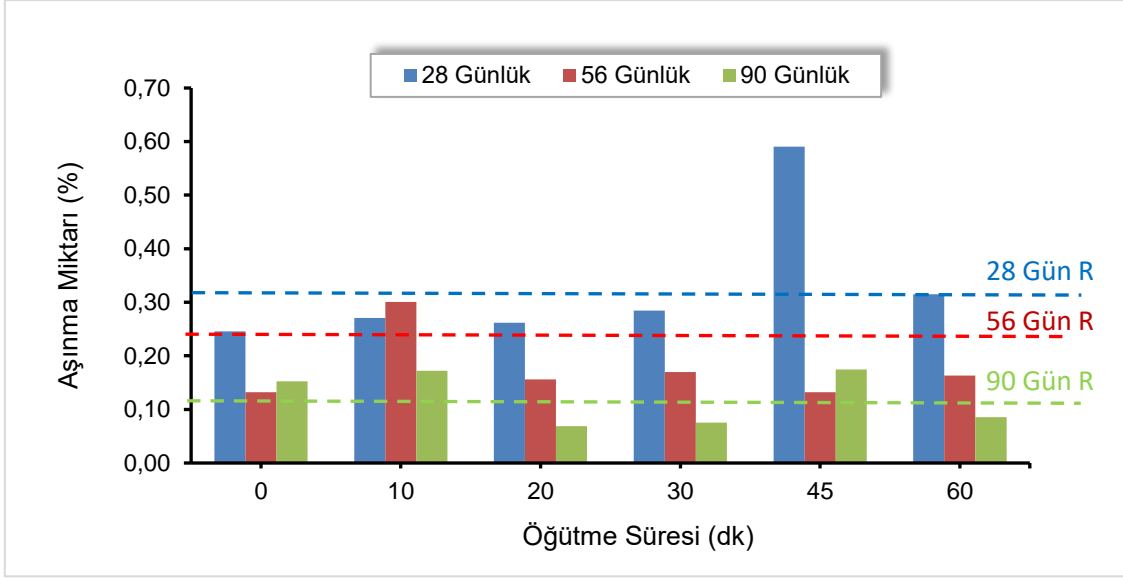


Şekil 9. % 10 Uçucu Kül İkameli Beton Karışımlarının Aşındırma Sonuçları.

Şekil 9’da görüldüğü üzere % 10 UK ikameli beton karışımları içerisinde 28, 56 ve 90 günlük kür sürelerinde en yüksek aşınma miktarı değerleri sırasıyla; 0,68 g (20 dk öğütme), 0,21 g (60 dk öğütme), ve 0,19 g (60 dk öğütme) olarak ölçülmüştür. 28, 56 ve 90 günlük kür sürelerinde en düşük aşınma miktarları ise sırasıyla 0,17 g (60 dk öğütme), 0,09 g (20 dk öğütme), 0,11 g (0 dk öğütme) e-ISSN: 2148-2683

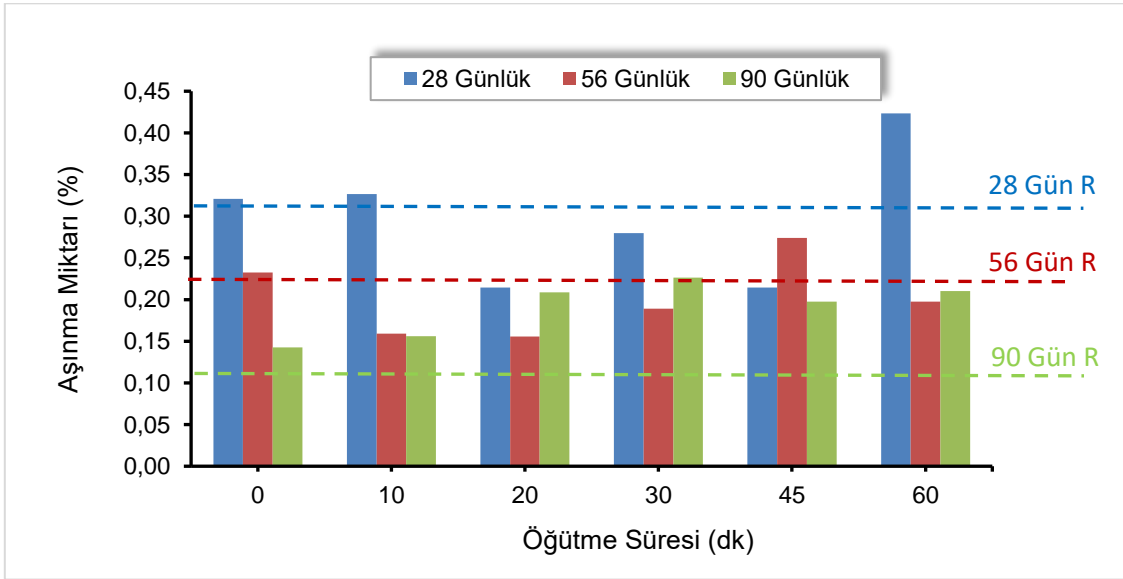


olarak hesaplanmıştır. Ayrıca % 10 UK ikameli beton karışımları içerisinde en fazla aşınma miktarı 28 günlük kür süresinde meydana gelmektedir. Öğütme süresi arttıkça 28 günlük kür süresi numunelerinin aşınma miktarlarında genel olarak arttığı söylenebilir, ama 56 ve 90 günlük kür sürelerinde pek etkili olduğu söylenemez. Buna ilaveten, kür süresi arttıkça genel olarak aşınma miktarının azaldığı görülmektedir. 28 günlük kür süresinde neredeyse bütün öğütme sürelerinde (60 dk hariç) referans numune değerini aştığı, 90 günlük kür süresinde ise bütün öğütme sürelerinde (20 dk hariç) referans numune değerini aştığı görülmektedir. 56 günlük kür süresinde referans numune değerini geçen karışım bulunmamaktadır.



Şekil 10. % 30 Uçucu Kül İkameli Beton Karışımlarının Aşındırma Sonuçları.

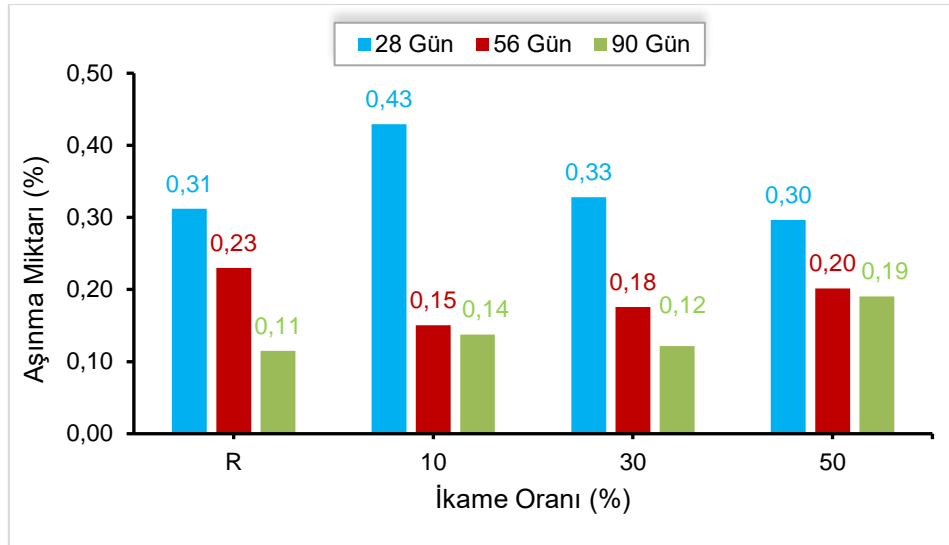
% 30 UK ikameli beton karışımları içerisinde 28, 56 ve 90 günlük kür sürelerinde en yüksek aşınma miktarı değerleri sırasıyla; 0,59 g (45 dk öğütme), 0,30 g (10 dk öğütme), ve 0,17 g (10 ve 45 dk öğütme) olarak ölçülmüştür. 28, 56 ve 90 günlük kür sürelerinde en düşük aşınma miktarları ise sırasıyla 0,25 g (0 dk öğütme), 0,13 g (0 ve 45 dk öğütme), 0,08 g (30 dk öğütme) olarak hesaplanmıştır. Ayrıca % 30 UK ikameli beton karışımları içerisinde en fazla aşınma miktarı 28 günlük kür süresinde meydana gelmiştir. Öğütme süresinin artmasıyla 28, 56 ve 90 günlük kür süresine sahip numunelerinin aşınma miktarlarında pek bir değişiklik olduğu söylenemez. 28 günlük kür süresinde sadece 45 dk öğütme süresinde referans numune değerini aştığı, 56 günlük kür süresinde ise sadece 10 dk öğütme süresinde referans numune değerini aştığı görülmektedir. 90 günlük kür süresinde ise referans numune değerini 0, 10 ve 45 dk öğütme sürelerinde geçmiştir (Şekil 10).



Şekil 11. % 50 Uçucu Kül İkameli Beton Karışımlarının Aşındırma Sonuçları.

Şekil 11'de görüldüğü üzere; % 50 UK ikameli beton karışımları içerisinde 28, 56 ve 90 günlük kür sürelerinde en yüksek aşınma miktarı değerleri sırasıyla; 0,42 g (60 dk öğütme), 0,27 g (45 dk öğütme), ve 0,23 g (30 dk öğütme) olarak ölçülmüştür. 28, 56 ve 90 günlük kür sürelerinde en düşük aşınma miktarları ise sırasıyla 0,21 g (20 ve 45 dk öğütme), 0,16 g (10 ve 20 dk öğütme), 0,14 g (0 dk öğütme) olarak hesaplanmıştır. Ayrıca % 50 UK ikameli beton karışımları içerisinde en fazla aşınma miktarı 28 günlük kür süresinde meydana gelmiştir. Öğütme süresinin artmasıyla 28, 56 ve 90 günlük kür süresine sahip numunelerin aşınma miktarlarında pek bir

değişiklik olduğu söylenemez. 28 günlük kür süresinde 0, 10 ve 60 dk öğütme sürelerinde referans numune değerini aştığı, 56 günlük kür süresinde ise 0 ve 45 dk öğütme sürelerinde referans numune değerini aştığı görülmektedir. 90 günlük kür süresinde ise referans numune değerini bütün öğütme sürelerinde geçmiştir.



Şekil 12. İkame Oranının Aşındırmaya Etkisi.

Şekil 12'deki gibi; 0, 10, 20, 30, 45 ve 60 dk öğütülmüş ve beton içerisinde çimento yerine % 10, % 30 ve % 50 oranlarında ikame edilen uçucu külün ortalama değerleri alınarak aşınma miktarları belirlenmiştir. 28 günlük kür süresinde UK ikame oranı arttıkça aşınma miktarı azalmaktadır. 56 ve 90 günlük kür serelerinde ise UK ikame oranı arttıkça aşınma miktarıda genel olarak artmıştır.

Referans beton numunesine göre 28 günlük kür süresinde % 10 ve 30 UK ikameli beton örneklerinin aşınma miktarları daha fazla değer aldığı, 56 günlük kür süresinde referans numunesinin değerini geçen karışım oranı olmadığı ve 90 günlük kür süresinde ise bütün ikame oranlarında referans numune değerinin aşıldığı görülmektedir. Genel olarak uçucu kül ikameli betonlarda aşınma direnci üzerine mineral katkıların etkisinin yanı sıra farklı faktörlerin etkisi de mevcuttur. Aşınma direnci numunelerin basınç dayanımı, agregaya ait özellik ve çeşitine, kür şartları ve yüzey durumuna bağlı değişiklik göstermektedir. 90 günlük aşınma miktarının referans beton örneğine göre yüksek çıkmasının betonun hidrasyon sürecinin devam etmesiyle ve bu durumda aşınmayı artırıcı özelliklerin ortaya çıkması etkili olmuştur (Akçaözöglü, 2017). Beton içerisinde uçucu kül kullanımının sertleşmiş betonun aşındırma direnci üzerine etkisi daha öncesinde yapılan çalışmalara göre uçucu kül katkı miktarının betonda artmasıyla aşındırma direncinin azaltmasına neden olduğu düşünülmektedir. Günindi (2005) çalışmasında % 10- 40 oranında uçucu kül katkılı betonların ilk günlerde yeterli basınç değeri elde edilememesine bağlı aşınma direncinin düşük olduğunu belirtmiştir. İlerleyen zamanda uçucu kül ikamesindeki artışa bağlı olarak aşınma direncinin arttığını ortaya koymuştur. Benzer sonuçları Gebler ve Klieger (1986) ile Atiş (2000) çalışmalarında yüksek miktarda uçucu kül kullanarak ürettikleri beton örnekleri içerisinde uçucu kül miktarının artmasıyla aşınma direncinde arttırmasında da görülmektedir.

#### 4. Sonuç

Yapılan bu çalışmada C tipi uçucu kül, bilyalı değirmende 0, 10, 20, 30, 45 ve 60 dk öğütülmüş ve beton içerisinde çimento yerine % 10, % 30 ve % 50 gibi yüksek oranlarda ikame edilmiştir. Elde edilen farklı incelik ve ikame oranlı uçucu kül (UK) katkılı betonlar ile referans betonun karbonatlaşma ve aşınma dirençleri belirlenmiştir.

% 10 ve % 50 uçucu kül ikameli beton numunelerinde öğütme süresinin yarmada çekme dayanımı üzerinde pek fazla etkili olmadığı, ama referans numuneye göre uçucu kül ikamesinin dayanımı artırdığı söylenebilir. % 30 uçucu kül ikameli beton numunelerinde öğütme süresinin yarmada çekme dayanımını çok az artırdığı görülmektedir, ancak bu karışım oranında referans numunenin elde ettiği dayanım değerinin altında değer almıştır.

Beton karışımlarına ikame edilen uçucu kül oranlarının artmasıyla birlikte karbonatlaşma derinliği değeri de artmıştır. En yüksek karbonatlaşma derinliği değeri 0, 20, 30 ve 45 dakika öğütme sürelerine sahip % 50 UK ikameli beton örneğinde (1,0 cm), en düşük karbonatlaşma derinliği değeri (0,3 cm) ise 10 ve 45 dakika öğütme süresine sahip % 10 UK ikameli beton örneklerinde elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; beton karışımlarında kullanılan UK'ün öğütme süresinin karbonatlaşma derinliği üzerinde pek fazla değişikliğe neden olmadığı görülmüştür.

% 10, 30 ve 50 UK ikameli beton karışımları içerisinde en fazla aşınma miktarı 28 günlük kür süresinde meydana gelmiştir. % 10 UK ikameli beton karışımında öğütme süresi arttıkça 28 günlük kür süresi numunelerinin aşınma miktarında genel olarak arttığı söylenebilir, ama 56 ve 90 günlük kür sürelerinde pek etkili olduğu söylenemez. Diğer UK ikame oranlarında (% 30 ve 50) öğütme süresinin artmasıyla 28, 56 ve 90 günlük kür süresine sahip numunelerinin aşınma miktarlarında pek bir değişiklik olduğu söylenemez.

## **Kaynakça**

- Archarya, P., K., ve Patro, S.K., (2016). Strength, sorption and abrasion characteristics of concrete usingferrochrome ash (FCA) and lime as partial replacement of cement, *Cement and Concrete Composites*, 74, 16-25.
- Akçaözöglü, K., Güldür, Ş., M., (2017). Mikrokronize kalsit ve uçucu kül katkısının beton özelliklerine etkisinin araştırılması, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17, 025603 (658-668).
- Akman, M., S., (1992). Deniz yapılarında beton teknolojisi, İstanbul Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi Baskı Atölyesi; Yayın No:1481, 27, 175.
- ASTM C 944-99, (1999). Standard test method for abrasion resistance of concrete or mortar surfaces by the rotating-cutter method, American Society For Testing and Materials, USA.
- ASTM C 618-19, (2019). Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019, [www.astm.org](http://www.astm.org).
- Atiş, C., D., (2000). Yüksek oranda uçucu kül kullanımı ile betonun aşınması, *İMO Teknik Dergi*, Yazı 154, 11(4) 2217-2230.
- Beak, M., S. Kim, W., S., Kim, J., W., Kim, J.S., Kim, S.S., Jung, S.J., (2003). the experimental study on neutralization properties of high volume fly-ash concrete, *Proc. Spring KCI Conference* 15 (1), 69-74.
- Bilim, C., (2011). Zeolit katkısının harçların aşınma direncine etkisi, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey.
- Borges, P. H. R., Costa, J. O., Milestone, N. B., Lynsdale, C. J., Streatfield, R. E., (2010). Carbonation of ch and c-s-h in composite cement pastes containing high amounts of BFS. *Cem. Concr. Res.* 40, 284-292.
- BS EN 13293 (2004). Products and systems for the protection and repair of concrete structures-test methods-determination of resistance to carbonation, (2004).
- Da Silva, S. R. ve De Oliveira Andrade, J.J., (2017). Investigation of mechanical properties and carbonation of concretes with construction and demolition waste and fly ash, *Constr. Build. Mater.* 153, 704-715.
- Erdoğan, T., Y., (1997). Admixtures for concrete, Middle East Technical University Press, Ankara, Turkey.
- Erdoğan, T., Y., (2003). Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayını, 191-502-518s. Ankara.
- Gebler, S., H., Klieger, P., (1986). Effect of fly ash on the durability of air entrained concrete, *Proceedings of ACI/Canmed Second International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete SP-91, SPAIN-Madrid*, pp. 483-519.
- Günindi, İ., (2005). Yumurtalık Sugözü uçucu külü içeren betonların basınç, eğilme, aşınma dayanımlarının araştırılması, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilemleri Enstitüsü inşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi.
- Langa, B. V., Joshi, R. C., Ward, M. A., (1990). Strength and durability of concrete containing 50 percent portland cement replacement by fly ash and other materials, *Can.J. Civil Eng.*, 17(1), 19-27.
- Liu, T., C., (1989). Abrasion resistance of concrete, *ACI J.*, 86 (5), 507-514.
- Mehta, P., K., (1993). Pozzolanic and cementitious by-products as mineral admixtures for concrete – a critical review, *Proc. 1st Int. Conf. on the Use of fly ash, silica fume, slag and other mineral by-products in concrete*, ACI SP-79, American Concrete Institute, Detroit, pp. 1-48.
- Mindess, S., Young, J.F., Darwin, D., (2002). *Concrete*, 2nd ed., Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Morandau, A., Thiéry, M., Dangla, P., (2014). Investigation of the carbonation mechanism of ch and c-s-h in terms of kinetics, microstructure changes and moisture properties, *Cem. Concr. Res.* 56, 153-170.
- Naik, T., R., Singh, S., S., Hossain, M., M., (1995). Abrasion resistance of high-strength concrete made with class C fly ash, *ACI Mater. J.*, 92 (6), 649-659.
- Naik, T., R., Singh, S. S., Rammer, B., W., (1998). Mechanical properties and durability of concrete made with blended fly ash, *ACI Mater. J.*, 95(4), 454-462.
- Özer, Ş., (2012). Farklı çimentoların betondaki karbonatlaşmaya etkisinin araştırılması, Fırat Üniversitesi, Fen Bilemleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi.
- Papadakis, V.G., Vayenas, C.G., Fardis, M.N., (1991). Fundamental modeling and experimental investigation of concrete carbonation, *Mater. J.* 88, 73-363.
- Park, G., K., (1995). Durability and carbonation of concrete, *Mag. KCI* 7 (2), 74-81.
- Ramyar, K., (1993). Uçucu küllerin çimento harcının büzülmesine ve betonun karbonatlaşmasına olan etkileri, *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu*, TMMOB Ankara Şubesi, 133-147.

- Ramyar, K., (2007). Portland çimentosu – süperakışkanlaştırıcı katkı uyumunu etkileyen faktörler, 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu ve Sergisi, Ankara.
- Rashad, A., M., (2015). A brief on high-volume class f fly ash as cement replacement – a guide for civil engineer, *International Journal of Sustainable Built Environment*, 4, 278-306.
- Reis, R., Malheiro, R., Camões, A., Ribeiro, M., (2014). Carbonation resistance of high volume fly ash concrete, *Key Eng. Mater.*, 634, 288–299.
- Ruixia, E., (2010). A Study on carbonation for low calcium fly ash concrete under different temperature and relative humidity the electronic, *J. Geotech. Eng.* 15, 1871–1877.
- Subaşı, S., Beycioğlu, A., Çomak, B., (2011). Puzolan katkısının betonun karbonatlaşma derinliğine etkisi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Sayı 24, ISSN-1302-3055.
- Siddique, R. (2003). Effect of Fine Agregate replacement with class f fly ash on the abrasion resistance of concrete, *Cem. Concr. Res.* 33(1), 877-1881.
- Siddique, R. (2004). Performance characteristics of high-volume Class F fly ash concrete, *Cement and Concrete Research* 34, 487 – 493.
- Siddique, R., Khatib, J.M., (2010). Abrasion resistance and mechanical properties of high-volume fy ash concrete, *Materials and Structures*, 43:709–718.
- Siddique, R., Prince, W., Kamalı, S., (2007). Influence of utilization of high-volumes of class f fly ash on the abrasion resistance of concrete, *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, p. 13-28.
- Şahin, Y., E., (2004). Linyosülfanet esaslı beton katkılarının beton performansına etkileri, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilemleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı malzemesi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi*.
- Teixeira, E. R., Camões, A., Branco, F. G., Aguiar, J. B., Fanguero, R., (2019). Recycling of biomass and coal fly ash as cement replacement material and its effect on hydration and carbonation of concrete, *Waste Management* 94, 39–48
- Tikal'sky, P., J., Carrasquillo, P., M., Carrasquillo, R., L., (1988). Strength and durability considerations affecting mix proportions of concrete containing fly ash, *ACI Master*, J., 86 (6), 505-511.
- TS EN 12390-6, (2010). Beton - sertleşmiş beton deneyleri - bölüm 6: deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini, TSE.
- TS 802, (2016). Beton karışım tasarımı hesap esasları, TSE.
- Yazıcıoğlu, S., Demirel, B., Gönen, T., Özer, Ş., (2012). Farklı tip çimentoların betonun karbonatlaşmasına etkisi, *SDU International Journal of Technologic Sciences*, Vol. 4, No 3, pp. 112-120.
- TS EN 196-3 +A1, (2010). Çimento deney yöntemleri - bölüm 3: priz süreleri ve genleşme tayini, TSE.
- TS EN 450-1, (2013). Uçucu kül-betonda kullanılan-bölüm:1 tarif, özellikler ve uygunluk kriterleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, 27 s, Ankara.
- Topçu, İ. B., (2006). Yapı malzemeleri ve beton deneyleri el kitabı, Eskişehir.



# Parkinson Hastalığı Tespitinde Farklı Boyutsallık İndirgeme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Hakan Gündüz<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Düzce, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-2152-5490)

(İlk Geliş Tarihi 5 Aralık 2019 ve Kabul Tarihi 31 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.655795)

**ATIF/REFERENCE:** Gündüz, H. (2019). Parkinson Hastalığı Tespitinde Farklı Boyutsallık İndirgeme Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1164-1172.

## Öz

Parkinson Hastalığı (PH), bireylerin çoklu motor ve motor olmayan özelliklerini doğrudan etkileyen ilerleyici bir sinir hastalığıdır. PH'nin ilk evresinde bireyler genellikle ses bozulmalarıyla karşı karşıya kalır. Bu durumda PH'nin erken tespitinde kişilerin ses kayıtlarından yararlanılır. Ses kayıtlarından sinyal işleme yöntemleriyle çıkarılan öznelikler yapay öğrenme yöntemlerine girdi olarak verilerek bireylerin hastalığa sahip olup olmadığı tespit edilir. Bu çalışmada bireylerin ses kayıtlarından çıkarılan öznelikler iki farklı yapay öğrenme yöntemine girdi olarak verilmiş ve bireyler Parkinson hastası veya sağlıklı olarak sınıflandırılmıştır. Oluşturulan modeller UCI Makine Öğrenmesi deposundan alınan veri kümesi ile eğitilmiştir. Hem eğitilen yapay öğrenme modellerinin karmaşıklığını azaltmak hem de modellerin aşırı öğrenmesini engellemek için öznelikler üzerinde iki farklı boyutsallık indirgeme yöntemi uygulanmıştır. İlk yöntem olan Temel Bileşenler Analizi (TBA)'yle yeni bir öznelik alt uzayı oluşturmak için öznelik kümesi orijinal boyuttan daha az boyuta sahip olan yeni bir alt uzaya yansıtılır. Oluşturulan yeni öznelik uzayında yüksek varyansa sahip bileşenler seçilirken; varyansı düşük bileşenler ihmal edilir. İkinci yöntem olan Özyinelemeli Öznelik Eleme (ÖÖE)'de özneliklere yapay öğrenme yöntemleri kullanılarak ilgililik puanları atanır. İlk aşamada tüm öznelik kümesini kullanan bir model oluşturulur ve her öznelik için bir ilgililik puanı hesaplanır. Sonraki aşamada en az ilgililik puanına sahip öznelik ihmal edilerek model yeniden oluşturulur ve ilgililik puanları tekrar hesaplanır. Bu işlem öznelik kümesinde istenilen sayıda öznelik kalana kadar devam ettirilir. Kullanılan iki Boyutsallık indirgeme yöntemiyle öznelik uzayının boyutları azaltılmış ve indirgenmiş öznelik vektörleriyle Destek Vektör Makineleri (DVM) ve Gradyan Arttırıcı Makineler (GAM) sınıflandırıcıları eğitilmiştir. Elde edilen veri kümesinin örnek sayısı görece az olduğundan sınıflandırıcıların eğitiminde Bireyi Dışarda Bırakan Çapraz Doğrulama (BDBÇD) prosedürü kullanılmıştır. Veri kümesi aynı zamanda dengesiz sınıf dağılımına sahip olduğundan modellerin performans değerlendirmesinde doğruluk oranıyla birlikte F-ölçütü ve Matthews Korelasyon Katsayısı (MKK) ölçütleri kullanılmıştır. Alınan tüm deneysel sonuçlar irdelendiğinde en yüksek sınıflandırma başarısına sadece 13 öznelik kullanılarak erişildiği görülmüştür. ÖÖE yöntemiyle seçilen 13 öznelikle GAM sınıflandırıcısı eğitilerek 0,881 doğruluk oranı elde edilmiştir. Doğruluk oranı öznelik seçimi yapılmadan elde edilen sonuçlara göre yaklaşık %2 oranında artmıştır. Aynı artış sınıfların ayırt edilebilirliğini gösteren MKK oranında da olmuştur. Boyutsallık indirgeme işlemi olmadan elde edilen MKK oranı 0,62 iken ÖÖE yöntemiyle öznelik seçimi yapıldığında oran 0,67'ye yükselmiştir. Kullanılan diğer boyutsallık indirgeme yöntemi olan TBA ise öznelik seçimsiz modellere göre sınıflandırma başarısı arttırmamasına rağmen, aynı başarı oranlarına daha az sayıda öznelikle erişmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Parkinson Hastalığı Tespiti, Boyutsallık İndirgeme, Temel Bileşenler Analizi, Özyinelemeli Öznelik Eleme, Destek Vektör Makineleri, Gradyan Arttırıcı Makineler.

## Comparison of Different Dimensionality Reduction Methods in the Detection Parkinson's Disease

### Abstract

Parkinson's Disease (PD) is a progressive neural disease that directly affects multiple motor and non-motor features of the individuals. PD individuals are often confronted with sound distortion in the first stage of the disease. In this case, the voice recordings of the people

\* Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Düzce, Türkiye, ORCID: 0000-0003-2152-5490, [hakangunduz@itu.edu.tr](mailto:hakangunduz@itu.edu.tr)



are used for the early detection. The features extracted from the sound recordings by signal processing methods are given as input to machine learning methods for the detection of the PD. In this study, the features extracted from the voice recordings of individuals were given as input to two different machine learning models for the detection of PD. The models were trained with the dataset obtained from the UCI Machine Learning repository. Two different dimensionality reduction methods were applied on the features in order to reduce the complexity of the trained models and to prevent the over-fitting. The first method, Principal Components Analysis (TBA), projects original feature space into a new subspace that has fewer dimensions than the original. In order to reduce feature dimensions, components with high variances in the new feature space are selected. In the second method, Recursive Feature Elimination (RFE), relevance scores are assigned to the features by using machine learning methods. In the first step, a model that uses the entire set of features is created and a relevance score is calculated for each feature. In the next stage, the model is rebuilt by neglecting the feature with the least relevance score and the relevance scores are recalculated. This process is continued until the desired number of features remains in the feature set. After dimensionality reduction process, Support Vector Machines (SVM) and Gradient Boosting Machines (GBM) classifiers were trained with selected features. Since the number of instances in the dataset was small, One Person Out Cross Validation (OPOCV) was used in classifier training. Due to having data imbalance problem, F-Measure and Matthews Correlation Coefficient (MCC) metrics were used along with accuracy in the performance evaluation. When all the experimental results were examined, it was found out that the highest classification success was achieved by using only 13 features. The GBM classifier was trained with 13 features selected by RFE method to obtain an accuracy of 0.881. Accuracy rate increased by about 2% according to the results obtained without feature selection. The same increase was also seen in the rate of MCC that shows the degree of the class distinguishability. While MCC rate obtained without dimensionality reduction was 0.62, the ratio increased to 0.67 when the feature selection was done with the RFE. PCA, which is the other dimensionality reduction method, did not increase the classification success compared to without selection, but achieved the same success rates with fewer features.

**Keywords:** Detection of Parkinson's Disease, Dimensionality Reduction, Principal Component Analysis, Recursive Feature Elimination, Support Vector Machines, Gradient Boosting Machines.

## 1. Giriş

Sağlık bilişim sistemleri, son yıllarda önemli hastalıkların tespitinde ve gelişiminin izlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapay öğrenmeye dayalı bilişim sistemleri, özellikle 60 yaşın üzerindeki kişilerde sıkça görülen Parkinson Hastalığı (PH)'nin izlenmesinde kullanılır [1]. PH, çoklu motor ve motor olmayan özelliklerde kayba neden olan ilerleyici bir sinir hastalığıdır [2]. Hastalığın erken teşhisinin yaşam kalitesini artırması nedeniyle, PH'nin tespiti için yüksek doğruluğa ve güvenilirliğe sahip tıp bilişim sistemleri gerekir. Bu sistemler aynı zamanda hekimlerin iş yükünü azaltmayı da hedefler [3]-[7]. PH saptama sistemleri, genel anlamda hastalığın hangi aşamada olduğunu tanımaya odaklanır. Hastalığın en yaygın belirtilerinden biri de ses problemidir ve hastalığın erken safhalarından itibaren ses bozukluklarına sıklıkla rastlanır. Bu nedenle, ses bozukluklarına dayalı sağlık sistemleri son PH tespit çalışmalarında öncü konumdadır [3]-[7]. Ses sinyallerini kullanan bu sistemler ilintili ses özelliklerini kullanarak Parkinson hastalarını sağlıklı bireylerden otomatik olarak ayırt edebilir. Bu sistemlerde klinik olarak ilintili öznelikler elde etmek için çeşitli konuşma sinyal işleme teknikleri kullanılır. Elde edilen bu öznelikler yapay öğrenme yöntemlerine girdi olarak verilerek PH tespitinde güvenilir kararlar alınır. PH çalışmalarında kullanılan veri kümelerinin öznelik vektörlerinin boyutunun yüksek olması ve örnek sayısının az olması nedeniyle, sinyallerden elde edilen öznelikler üzerinde boyutsallık indirgeme gerçekleştirilir. Boyutsallık indirgeme öznelik uzayının yüksek boyutlu olmasının negatif etkilerini ve veri seyrekliği problemini ortadan kaldırır. Boyut indirgenmesi, öznelik seçimi veya öznelik çıkartımı teknikleriyle yapılmaktadır.

PH tespitinde boyutsallık indirgmeden sonraki aşama uygun yapay öğrenme yönteminin seçilmesidir. Son yıllarda yapılan PH çalışmalarında Yapay Sinir Ağları (YSA), Destek Vektör Makineleri (DVM), Rastgele Orman (RF) ve K-En Yakın Komşular (KEYK) gibi yapay öğrenme modelleri sıklıkla kullanılmıştır. Bahsedilen bu modellerden KYEK sadeliği ve sonuçları anlamlandırma kolaylığı açısından ön plandadır. YSA, DVM ve RO modelleri ise doğrusal yapıya sahip olmayan verileri modellemede başarılıdır [8-11]. PH çalışmalarında kullanılan yapay öğrenme modeli ne olursa olsun; modellerin başarısı verilerden seçilen özneliklerin kalitesi ile doğrudan ilgilidir. Boyutsallık indirgeme yöntemleri veride gürültü olarak yer alan öznelikleri ihmal ederken ilintiye sahip öznelikleri ön plana çıkarmaktadır. Böylece tekrarlı ve aynı bilgiyi içeren öznelikler elenir ve sınıflandırma performansında artış olur [12].

Bu çalışmada İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Nöroloji Bölümünde kaydedilmiş 188 Parkinson hastası ve 64 sağlıklı bireye ait ses kayıtlarından farklı sinyal işleme teknikleriyle elde edilen öznelikler kullanılmıştır [13]. Bu özneliklere farklı boyutsallık indirgeme yöntemleri uygulanmıştır. Öznelik çıkarma yöntemi olarak Temel Bileşen Analizi (TBA) kullanılırken; öznelik seçimi için Özyinelemeli öznelik eleme (ÖÖE) yönteminden yararlanılmıştır. Boyut indirgemesi yapılan öznelik vektörleri DVM ve Gradyan Arttırıcı Makineler (GAM) sınıflandırıcılarına girdi olarak verilmiştir. Sınıflandırıcıların eğitimi Bireyi Dışarda Bırakan Çapraz Doğrulama (BDBÇD) prosedürüyle yapılmıştır. Eğitilen sınıflandırıcıların performansı Doğruluk Oranı, F-ölçütü ve Matthews Korelasyon Katsayısı ölçütleriyle değerlendirilmiştir. Son olarak alınan sınıflandırma sonuçları aynı veri kümesinin kullanıldığı diğer literatür çalışmalarıyla kıyaslanmıştır. Çalışmada devam eden bölümleri şu şekildedir: İkinci bölümde literatürde yer alan PH tahmini çalışmalarından bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde kullanılan veri kümesinin detayları hakkında bilgi verilmiş ve boyutsallık indirgeme, yapay öğrenme ve performans değerlendirme yöntemleri açıklanmıştır. Son bölüm olan 4. Bölüm'de ise çalışmada elde edilen sonuçlar gösterilmiş ve değerlendirilmiştir.

## 2. İlgili Çalışmalar

Bu bölümde, yapay öğrenme algoritmalarını kullanan PH sınıflandırma çalışmaları özetlenmiştir. PH olan bireylerde arasında yavaş hareket, duruş ve denge eksiklikleri gibi pek çok belirtiler olmasına rağmen, hastalığın en önemli belirtisi konuşma ve boğumlanma değişimi olarak tanımlanan “Disfoni”dir [13]. Disfoninin PH'nin en anlamlı öncüsü olması PH çalışmalarının ses sinyallerine odaklanmasının en önemli sebebidir. Literatürdeki birçok çalışma 31 örneğe (23 PH ve 8 sağlıklı birey) sahip 195 ses kaydından oluşan kamuya açık veri setini kullanmıştır [14]. Çalışmalarda kullanılan diğer bir PH veri seti de çoklu konuşma kaydına sahip 40 örnek (20 sağlıklı ve 20 PH birey) içermektedir [4]. Her iki veri kümesindeki ses örneklerinden ses temel frekansı, temel frekanstaki değişkenlik ölçümleri, genlikteki değişkenlik ölçümleri gibi genel öznelikler elde edilmiştir. PH sınıflandırma çalışmalarının çoğu bu veri kümelerindeki öznelikleri içerdiğinden her iki veri kümesinden elde edilen öznelikler “Temel Öznelikler” olarak adlandırılır. Temel özneliklerin yanı sıra, PH tespitinde sinyal işleme tekniklerine dayanan diğer özneliklerden de yararlanır. Sinyal-gürültü oranı (İng. Signal to noise ratio), Mel-frekans Kepstral Katsayıları (MFKK) (İng. Mel Frequency Cepstral Coefficients) ve Ayarlanabilir Q-faktör Dalgacık Dönüşümü (AQDD) (İng. Tunable Q-Factor Wavelet Transform) gibi araçlarla PH sınıflandırma görevleri için etkin öznelikler elde edilebilir [13].

PH hastaları çoğunlukla ses yüksekliğini, kararsızlığı ve sıklık anormalliklerini doğrudan etkileyen ses bozulmalarıyla karşı karşıyadır. Ses kırılmaları ve bozulmuş ses kalitesi de PH bireylerde görülen diğer bozukluklardır. Konuşma işleme teknikleri, bahsedilen bu anormallikleri tespit etmek ve PH ile ilişkili ses özneliklerinin otomatik olarak çıkarmak için sıklıkla tercih edilir. Son on yılda, PH tespitinde ses öznelikleri kullanıldığı birçok yapay öğrenme çalışması yapılmıştır. Örneğin, Tsanas ve diğ. ses özneliklerine sahip yeni bir PH saptama modeli önermiş ve yüksek ilinti puanına sahip ilk 10 özneliği seçmek için farklı öznelik seçim teknikleri uygulamıştır. Minimum Fazlalık Maksimum İlgi (MFMİ) (İng. Minimum Redundancy Maximum Relevance- mRmR), Kabartma (İng. Relief) ve Yerel Öğrenme-Temelli Öznelik Seçimi (İng. Local Learning-Based Feature Selection) yöntemleri öznelik seçiminde kullanılmış ve seçilen özneliklerin performansları Rastgele Orman (İng. Random Forest) ve Destek Vektör Makineleri (DVM) (İng. Support Vector Machines) sınıflandırıcıları değerlendirilmiştir. Bu sınıflandırıcılar parıltı (İng. shimmer) ve ses kıvrım (İng. vocal fold) uyarma özneliklerinden yararlanarak % 98,6'ya varan hassasiyet oranına ulaşmıştır [15].

Vikas ve Sharma, Parkinson hastalarını sağlıklı bireylerden ayırmak için yeni bir model önermiş ve modele girdi olarak bireylerin ses sinyallerinden çıkarılan farklı öznelik kümeleri verilmiştir. Çalışmada gırtlak nabızı, MFKK, perde, titreme ve ısıltı özneliklerinin PH üzerindeki etkileri incelenmiş, MFKK ve gırtlak nabızı özneliklerinin PH ve sağlıklı bireylerde farklı karakteristiğe ve yüksek dalgalanmalara sahip olduğu sonucuna varılmıştır. PH bireylerin sağlıklı bireylerden daha yüksek titreşim ve ısıltı değerlerine sahip oldukları da tespit edilmiştir [8]. Parisi ve diğ. ise PH'nin erken teşhisi için yapay zekâ tabanlı bir sınıflandırma sistemi kurmayı amaçlamıştır. Çalışmada kullanılan veri kümesi California-Irvine Üniversitesi (UCI) Makine Öğrenimi deposundan alınmıştır. Veri kümesinde 68 bireye ait disfoni öznelikleri ve klinik puanlar mevcuttur. Sınıflandırma sistemine giriş olarak verilecek öznelikleri belirlemek için özel maliyet fonksiyonuna sahip Çok Katmanlı Algılayıcı (ÇKA) (İng. Multi Layer Perceptron) eğitilmiş ve eğitim sonucunda en yüksek önem puanına sahip 20 öznelik seçilmiştir. Seçilen öznelikler Lagrange Destek Vektör Makineleri (LDVM) sınıflandırıcısına verilerek sınıflandırma gerçekleştirilmiştir. Öznelik seçimine ve sınıflandırmaya dayalı bu melez sistemin performansı benzer çalışmalarla karşılaştırılmış, önerilen sistemin doğruluk oranının %100'e ulaştığı görülmüştür [16].

Sakar ve diğ. tarafından yapılan yakın dönem çalışmasında, bireylerin PH tanıları için ses sinyallerine AQDD uygulanmıştır. Elde edilen AQDD özneliklerinin başarısı, PH çalışmalarında yaygın olarak kullanılan diğer ses öznelikleriyle karşılaştırılmıştır. Deneyler 252 kişinin çoklu ses örnekleriyle yapılmış ve bu örneklerden farklı öznelik kümeleri çıkarılmıştır. Öznelik altkümeleri girdi verisi olarak farklı türde sınıflandırıcılara verilmiş ve bu sınıflandırıcıların çıktıları çoğunluk oyu (İng. Majority Voting) yöntemiyle birleştirilmiştir. Bu çalışma, AQDD özneliklerinin PH sınıflandırmada sıklıkla kullanılan diğer ses özneliklerinden daha yüksek başarıya sahip olduğunu göstermiştir. Ek olarak, MFKK ve AQDD özneliklerinin birleşimine MFMİ öznelik seçimi uygulanmış ve seçilen özneliklerin sınıflandırma performansını arttırdığı tespit edilmiştir [13].

Yücelbaş ve Yücelbaş, Sakar ve diğ. çalışmasıyla aynı veri kümesini kullanmış ve veri kümesindeki AQDD öznelikleri üzerine farklı Bağımsız Bileşen Analizi (BBA) yöntemleri uygulayarak boyut indirgemesi yapmıştır. Çalışmada indirgenmiş öznelik kümeleri Rastgele Orman (RO) sınıflandırıcısına giriş olarak verilmiş ve sınıflandırıcılar eğitilmiştir. Eğitilen sınıflandırıcıların sonuçları farklı değerlendirme ölçütleriyle sınanmıştır. Çalışmanın sonuçları irdelendiğinde; en yüksek sınıflandırma başarısına %82.01 ile yeniden yapılanma Bağımsız Bileşen Analizi (YBBA) yöntemiyle erişildiği görülmüştür [32].

Bahsedilen ilgili PH çalışmalarında yapay öğrenme yöntemleriyle beraber genellikle ses tabanlı özneliklerin kullandığı açıktır. Ses temelli özneliklerin yanında; elektroensefalogram (EEG), akıllı kalem ve giyilebilir algılayıcılar gibi farklı veri kaynaklarından öznelik çıkaran çalışmalarda bulunmaktadır [17-19].

## 3. Materyal ve Metot

### 3.1. Veri Kümesi

Çalışmada kullanılan veri kümesi UCI Makine Öğrenimi deposundan alınmıştır. Veri kümesi yakın zamanda Sakar ve diğ. tarafından yapılan çalışmada kullanılmıştır [13]. Veri kümesi ile ilgili istatistiki bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Veri kümesiyle ilgili istatistik bilgileri.

	PH	Sağlıklı
Birey Sayıları	188	64
Bireylerin Cinsiyet Dağılımı (E/K)	107/81	23/41
Bireylerin Yaş Aralığı	33-87	41-82

Veri toplama aşamasında mikrofonun frekans tepkisi 44.1 KHz'e ayarlanmış ve her birey "a" harfini seslendirmiştir. Her birey için 3 farklı kayıt alınmış böylece elde edilen ses kaydı örneğinin sayısı 756 olmuştur. Bireylere ait ses kaydı örneklerine farklı sinyal işleme teknikleri uygulanarak toplamda 752 adet öznelik elde edilmiştir. Bu özneliklerin türleri ve sayıları Tablo 2'de belirtilmiştir.

**Tablo 2.** Veri kümesindeki öznelik türlerinin sayıları.

Öznelik Türü	Öznelik Sayısı
Temel Öznelikler	21
Akustik Öznelikler	33
Mel-Frekans Kepstral Katsayıları(MFKK)	84
Dalgacık Dönüşümü (DD)	182
Ayarlanabilir Q-faktörü Dalgacık Dönüşümü (AQDD)	432

Literatür çalışmaları PH'nin erken dönemde bile kişinin konuşmasını etkilediği göstermiştir [20]. Bu sebeple konuşma öznelikleri PH'yi değerlendirmek ve hastalığın tedaviden sonraki evrimini izlemek için sıklıkla kullanılır. Titreme ve parıltı tabanlı öznelikler, temel frekans parametreleri, harmoniklik parametreleri, Yinelili Zaman Yoğunluk Entropisi (İng. Recurrence Time Density Entropy), Ardışık Bağımlı Dalgalanma Analizi (İng. Detrended Fluctuation Analysis) ve Perde Periyodu Entropisi (İng. Pitch Period Entropy), PH çalışmalarında sıkça kullanılan konuşma öznelikleridir. Sakar ve diğ. çalışmalarında bahsedilen bu öznelikleri Temel Öznelikler olarak adlandırmıştır [13]. Konuşma yoğunluğu, formant frekansları ve bant genişliği gibi Akustik Öznelikler ise konuşma sinyallerinden elde edilen spektrogramlarla oluşturulmuş olup, PH sınıflandırmasında kullanılan diğer anahtar özelliklerdir.

İnsan kulağının özelliklerini taklit eden MFKK, konuşmacı tanıma, otomatik konuşma tanıma, biyomedikal ses tanıma ve PH teşhisi gibi farklı görevlerde konuşma sinyallerinden gürbüz bir öznelik çıkarma yöntemi olarak bilinir. PH dil ve dudak hareketlerinde hızlı bozulmaları yol açtığından, MFKK'lar bu bozulmaları tespit etme yeteneğine sahiptir [6]. PH bireylerin konuşma örneklerinde uzun süreli sesli harflerin tam periyodikliğinde ani değişiklikler görülmektedir. Dalgacık Dönüşümü (DD) (İng. Wavelet Transform) bölgesel ölçekteki bu dalgalanmaları tespit etmede önemli bir araçtır. DD'nin ham temel konuşma sinyali F0'dan elde ettiği belirli öznelikler, PH tanısında birçok çalışmada kullanılmıştır [13].

Ayarlanabilir Q-faktörü Dalgacık Dönüşümü (AQDD), öznelik çıkarımı için kullanılan başka bir yöntemdir. AQDD, sinyal davranışına göre sinyalleri daha iyi kalitede dönüştürmek için 3 ayarlanabilir parametreden (Q (Q faktörü), r (artıklık) ve J (seviye sayısı)) yararlanır. Q faktörü parametresi, sinyallerdeki salınımların sayısı ile doğrudan ilgilidir ve zaman alanında yüksek salımlı sinyaller için nispeten yüksek Q faktörü değeri seçilir. J ayrıştırma aşamasındaki seviye sayısı olarak kabul edilir. R parametresi, zaman şeklini etkilemeden dalgacık konumunu belirlemek için aşırı çınlamayı kontrol eder. Daha önce belirtildiği gibi, PH bireyler ses katlama titreşimindeki periyodikliği yitirirler. Bu nedenle, kullanılan veri kümesindeki AQDD'nin parametreleri, konuşma sinyallerinin zaman bölgesi özellikleri dikkate alınarak ayarlanır [13].

### 3.2. Boyutsallık İndirgeme Yöntemleri

Boyutsallık indirgeme, bir modelin karmaşıklığını azaltmanın ve aşırı öğrenmeyi engellemenin bir yoludur. Boyutsallık indirgeme öznelik seçimi ve öznelik çıkarma olmak üzere iki ana kategoriye ayrılır. Öznelik seçimi yoluyla, orijinal özneliklerin bir alt kümesini seçilirken, öznelik çıkartmada yeni bir öznelik alt uzayı oluşturmak için öznelik kümesi farklı bir uzaya yansıtılmaktadır.

Boyutsallık indirgeme yapay öğrenme algoritmasının hesaplama verimliliğini arttırmasının yanında, modellerin tahmin performansı iyileştirilebilir [22].

Çalışmada boyutsallık indirgeme işlemi için Temel Bileşenler Analizi (TBA) (İng. Principal Component Analysis) ve Özyinelemeli Öznitelik Eleme (ÖÖE) (İng. Recursive Feature Elimination) yöntemleri kullanılmıştır. TBA yöntemiyle öznitelik uzayı yansıtma matrisiyle farklı bir uzaya yansıtılırken, ÖÖE yöntemiyle orijinal özniteliklerin belirli sayıda alt kümeleri seçilir. Kullanılan yöntemlerin detayları aşağıdaki alt bölümlerde açıklanmıştır.

### 3.2.1. Temel bileşenler analizi (TBA)

Temel Bileşenler Analizi (TBA): Temel Bileşen Analizi (TBA) (İng. Principal Component Analysis), özellikle öznitelik çıkarımı ve boyutsallığı azaltma için farklı alanlarda yaygın olarak kullanılan denetimsiz bir doğrusal dönüşüm tekniğidir. TBA'nın diğer popüler uygulamaları arasında keşifsel veri analizi, zaman serisi sinyallerindeki gürültülerin giderilmesi ve biyoinformatik alanındaki genom verilerinin ve gen ekspresyon seviyelerinin analizi bulunur [23]. TBA, öznitelikler arasındaki korelasyona dayanarak verilerdeki örüntüleri çıkarmamıza yardımcı olur. TBA yüksek boyutlu verilerde maksimum varyansın yönlerini bulmayı amaçlar ve bunu orijinal boyuttan daha az boyutta olan yeni bir alt alana yansıtır. Bunun için, örnek  $x$  vektörünü orijinal  $d$ -boyutlu öznitelik uzayından daha az boyutlara sahip yeni bir  $k$ -boyutlu öznitelik alt uzayına yansıtılmamıza izin veren bir  $d \times k$  boyutlu dönüşüm matrisi olan  $W$  oluşturulur.

$$\begin{aligned} \mathbf{x} &= [x_1, x_2, x_3 \dots x_d], & \mathbf{x} \in \mathbb{R}^d, \mathbf{z} &= \mathbf{x}W, & W &\in \mathbb{R}^{d \times k} \\ \mathbf{z} &= [z_1, z_2, z_3 \dots z_k], & \mathbf{z} &\in \mathbb{R}^k \end{aligned} \quad (1)$$

Orijinal  $d$  boyutlu verilerin bu yeni  $k$  boyutlu alt uzaya dönüştürülmesinin bir sonucu olarak, birinci ana bileşen mümkün olan en büyük varyansa sahiptir. Birinci bileşeni izleyen diğer ana bileşenler ise bu bileşenlerin diğer ana bileşenlerle ilişkisiz olduğu (ortogonal) kısıtı göz önüne alındığında yine en büyük varyansa sahip olacaktır. TBA yansıtılmaları veri ölçeklendirmeye karşı oldukça duyarlı olduğundan, TBA öncesi öznitelikler standart hale getirilmeli ve tüm özniteliklere eşit önem verilmelidir [24].

### 3.2.2. Özyinelemeli öznitelik eleme (ÖÖE)

Özyinelemeli öznitelik eleme (ÖÖE) özniteliklerin ilgililik puanlarını hesaplarken DVM ve RO gibi yapay öğrenme yöntemlerinden yararlanır [25,26]. Bundan dolayı ÖÖE temel olarak sarıcı (İng. wrapper) bir öznitelik seçim yöntemidir. ÖÖE yöntemi ilk aşamada tüm öznitelik kümesini kullanarak bir model oluşturur ve her öznitelik için bir önem puanı hesaplar. Sonraki aşamada en az önem puanına sahip öznitelik ihmal edilerek model yeniden oluşturulur ve önem puanları tekrar hesaplanır. Bu işlem öznitelik kümesinde istenilen sayıda öznitelik kalana kadar devam ettirilir. Bu nedenle, seçim sonunda istenilen öznitelik alt kümesi boyutu, ÖÖE için bir ayar parametresidir. ÖÖE yönteminde diğer belirlenmesi gereken parametre ise özniteliklerin önem puanlarının belirleneceği yapay öğrenme yöntemidir. DVM, yüksek doğruluğu ve iyi genelleme kabiliyeti nedeniyle ÖÖE için popüler bir algoritmadır. ÖÖE'nin her yinelemesinde doğrusal DVM modeli eğitilir ve her özniteliğe bir ağırlık değeri atanır. En düşük ağırlığa sahip özniteliklerin sınıflandırma üzerinde etkisi en az olduğundan bir sonraki yenilemede bu öznitelik ihmal edilir. Öznitelik boyutu yüksek olduğunda ise, özniteliklerin birer birer çıkarılması zaman alır. Bu gibi durumlarda, her yinelemede birden fazla öznitelik ihmal edilebilir [27].

### 3.3. Sınıflandırma Yöntemleri

Çalışmamızda PH sınıflandırması için Destek Vektör Makineleri ve Gradyan Arttırıcı Makineler (İng. Gradient Boosting Machines) sınıflandırıcıları kullanılmıştır. Farklı boyutsallık indirgeme yöntemlerinden elde edilen öznitelik alt kümeleri bahsedilen 2 sınıflandırıcıya girdi olarak verilerek sınıflandırma gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırıcıların detaylarına aşağıdaki alt başlıklarda değinilmiştir.

#### 3.3.1. Destek vektör makineleri (DVM)

Destek Vektör Makineleri (DVM) denetimli bir öğrenme modeli olup hem sınıflandırma hem de regresyon problemlerinde kullanılır. İkili sınıflandırma problemlerinde, veriler doğrusal olarak ayrılabilirse, bu ayırım sonsuz sayıda hiper düzlemlerle yapılabilir. DVM'nin sınıfları birbirinden ayırmak için en büyük kenar boşluğuna sahip doğrusal fonksiyonu bulması amaçlanmaktadır. DVM, çekirdek (İng. Kernel) işlemleri yoluyla doğrusal olmayan verileri de başarıyla sınıflandırma yeteneğine sahiptir. Doğrusal olmayan verilerde doğrusal ayrılabilirliği sağlamak için  $n$  boyutlu örnekler çekirdek fonksiyonları kullanılarak yeni bir  $m$  boyutlu uzaya ( $m > n$ ) yansıtılır. Yeni uzaydaki örnekler düzlemler kullanılarak iki sınıfa ayrılır. DVM'deki parametreler kullanılan çekirdek fonksiyonunun türüne bağlı olarak değişir. Örneğin,  $C$  eğitilen modelin karmaşıklığını tanımlayan düzenleme parametresidir. Düşük  $C$  değerleri, yanlış sınıflandırılmış örneklerle sahip olabilecek daha basit bir model sağlarken, daha yüksek  $C$  değerleri, modelin varyansını arttırır ve aşırı öğrenmeye neden olur [28].

#### 3.3.2. Gradyan arttırıcı makineler (GAM)

Arttırma (İng. Boosting), tek bir güçlü öğrenici oluşturmak için bir dizi zayıf öğreniciyi bir araya getiren bir tahmin yöntemidir. Arttırma yöntemi, başarılı performanslarından dolayı birçok probleme başarıyla uygulanmıştır [29,30]. Gradyan Arttırma (GA) [31] kullanıldığında, zayıf öğrenenlerin eğitimi ile modeller eklemeli bir şekilde oluşturulur. Zayıf bir öğrenci olarak doğrusal regresyon, karar ağacı ve regresyon ağacı seçilebilir. GA modelinin formülü aşağıda eşitlikte gösterilmiştir:

$$\hat{y}_i = \sum_{k=1}^K f_k(x_i), \quad f_k \in F \quad (2)$$

Eşitlikte  $K$  öğrenenlerin sayısını,  $f_k$  ise fonksiyon uzayında tanımlı bir fonksiyonu (örneğin karar ağacı veya doğrusal fonksiyon) ifade eder.  $x_i$  veri kümesi örneği ve  $y_i$  ise  $x_i$  örneği için tahmin edilen sınıf etiketidir. GA modelleri yinelemeli olarak eğitilir. Her aşamada, mevcut modelin yanlış sınıflandırmalarını geri kazanmak için bir öğrenici (yeni bir karar ağacı gibi) eğitilir. GA sınıflandırıcısının eğitimi, gradyan düşmesi algoritması ile amaç fonksiyonunun en aza indirilmesiyle gerçekleştirilir [31].

### 3.4. Performans Değerlendirme

Sınıflandırıcıların tahmin performanslarını değerlendirmek için değerlendirme ölçütlerinden faydalanılır. Doğruluk oranı en sık kullanılan ölçütlerden biri olsa da, verilerde sınıf dağılımının dengesiz olması durumunda yanıltıcı sonuçlar verebilir [22]. F-ölçütü ve Matthews Korelasyon Katsayısı gibi değerlendirme ölçütleri, bir sınıflandırıcının sınıf dengesizliği durumunda bile farklı sınıflar arasında ne kadar iyi ayırım yapabileceğini ölçebilir. Bu ölçütler karmaşıklık matrisini temel alarak hesaplanır. Tablo 3'teki gibi karışıklık matrisi, ikili bir sınıflandırma için sınıf başına doğru ve yanlış sınıflandırılmış örneklerin sayısını ifade eder.

**Tablo 3.** İkili sınıflandırma için karışıklık matrisi.

Gerçek/Tahmin Edilen	Pozitif	Negatif
Pozitif	dp	yn
Negatif	yp	dn

Karışıklık matrisinde, dp, yp, yn ve dn sırasıyla doğru pozitif (dp), yanlış pozitif (yp), yanlış negatif (yn) ve doğru negatif (dn) sayımları belirtir. Bu sayımlara dayanarak, doğruluk ve F-Ölçütü şu şekilde hesaplanır [33]:

$$\text{Doğruluk} = \frac{dp+dn}{dp+yp+dn+yn} \quad (3)$$

$$\text{Kesinlik}(K) = \frac{dp}{dp+yp} \quad (4)$$

$$\text{Anma}(A) = \frac{dp}{dp+yn} \quad (5)$$

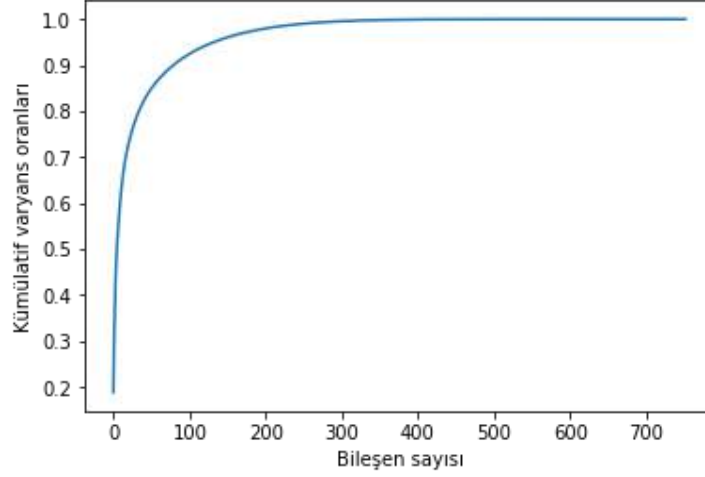
$$\text{F-Ölçütü} = \frac{2 * K * A}{K + A} \quad (6)$$

Matthews Korelasyon Katsayısı (MKK) ise ikili sınıflandırmaların kalitesini ölçmek için kullanılan başka bir ölçüttür. MKK, dp, yp, yn ve dn sayılarını dikkate alır ve genellikle sınıf dağılımı dengesiz olsa bile kullanılabilen dengeli bir ölçüt olarak kabul edilir. MKK esasen gerçek ve öngörülen durumlar arasında bir korelasyon katsayısıdır ve “-1” ile “+1” arasında bir değer alır. “+1” değeri mükemmel bir tahmin gösterirken, “-1” değeri tahmin ile gerçek etiketler arasındaki uyumsuzluğu belirtir.

## 4. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu bölümde, farklı boyutsallık indirgeme ve sınıflandırma yöntemleriyle elde edilen deneysel sonuçların ayrıntılarını açıklanmıştır. Elde edilen veri kümesinde az sayıda örnek bulunması nedeniyle, sınıflandırıcıların performans değerlendirilmesi Bireyi Dışarda Bırakan Çapraz Doğrulama (BDBÇD) prosedürüyle yapılmıştır. BDBÇD'nin her yinelemesinde, bir bireye ait olan örnekler test kümesi olarak ayrılırken, kalan diğer bireylerin örnekleri eğitim kümesi olarak kullanılmıştır. Veri kümesinde her bireye ait 3 kayıt olduğundan, bu kayıtların sınıf etiketleri ayrı tahmin edilmiş ve tahminlerin çoğunluğuna bakılarak o kişi için nihai sınıf etiketi belirlenmiştir.





Şekil 1. Bileşenlerin sahip olduğu kümülatif varyans oranları.

Veri kümesiyle yapılan ilk deneylerde herhangi bir boyutsallık indirgeme yöntemi kullanılmamıştır. Veri kümesi örnekleri direkt olarak DVM ve GAM sınıflandırıcılarına verilmiş ve sınıflandırıcıların performansları değerlendirilmiştir. Sınıflandırıcıların parametrelerini en iyilemek için farklı parametre kümeleri denenmiştir. DVM sınıflandırıcısında çekirdek türü ve C parametreleri için değerler bulunurken, GAM sınıflandırıcısı için öğrenici sayısı ve öğrenme oranları en iyilenmiştir. Boyutsallık indirgeme işlemi yapılmadan elde edilmiş sonuçlar Tablo 4'te gösterilmiştir.

Sonuçlar GAM sınıflandırıcısının 0,861 doğruluk ve 0,631 MKK oranlarıyla DVM sınıflandırıcısından daha yüksek performansa sahip olduğunu göstermiştir. F-Ölçütü ve MKK metrikleri açısından bakıldığında ise yine GAM sınıflandırıcısının DVM sınıflandırıcısına üstünlüğü bulunmaktadır. Bu deneylerin ardından boyutsallık indirme yöntemleriyle yeni deneyler gerçekleştirilmiştir. Veri kümesine ilk olarak TBA yöntemi uygulanmış ve her bir temel bileşenin sahip olduğu varyans oranları bulunmuştur. Bileşenlerin varyans oranları kümülatif olarak toplanmış ve Şekil 1'de çizdirilmiştir. Böylece bileşen sayısı ve bileşenlerin sahip olduğu toplam varyans oranları arasındaki ilişki bulunmuştur. İlk deneylerde toplam varyansın %70'ine sahip olan ilk 18 bileşen seçilmiştir. Böylece öznitelik uzayının boyutu 732'den 18'e indirgenmiştir. Seçilen bu 18 bileşen giriş verisi olarak DVM ve GAM sınıflandırıcılarına verilmiştir.

Tablo 4. DVM ve GAM sınıflandırıcılarıyla alınan sınıflandırma sonuçları.

Yöntemler	DVM			GAM		
	Doğruluk Oranı	F-Ölçütü	MKK	Doğruluk Oranı	F-Ölçütü	MKK
Öznitelik Seçimsiz	0,841	0,901	0,543	0,869	0,917	0,632
TBA (18 Öznitelik)	0,837	0,899	0,530	0,845	0,902	0,559
ÖÖE (18 Öznitelik)	<b>0,873</b>	<b>0,918</b>	<b>0,647</b>	<b>0,881</b>	<b>0,923</b>	<b>0,671</b>
TBA (35 Öznitelik)	0,841	0,898	0,553	0,841	0,900	0,545
ÖÖE (35 Öznitelik)	0,861	0,912	0,607	0,873	0,919	0,645
TBA (83 Öznitelik)	0,849	0,907	0,572	0,845	0,901	0,561
ÖÖE (83 Öznitelik)	0,865	0,914	0,620	0,865	0,913	0,622

Alınan sınıflandırma performansları Tablo 4'te sergilenmiştir. Sonuçlar her iki sınıflandırıcıyla alınan performansın (yaklaşık 0,84 doğruluk oranı) birbirine yakın olduğunu göstermiştir. TBA yönteminin performansını ÖÖE yöntemiyle karşılaştırmak için, ÖÖE ile de en yüksek öznitelik önem puanına sahip 18 öznitelik seçilmiştir ve bu öznitelikler DVM ve GAM sınıflandırıcılarına girdi olarak verilmiştir. Alınan sınıflandırma sonuçları Tablo 4'te listelenmiştir. ÖÖE yöntemiyle seçilen 18 öznitelikle DVM sınıflandırıcısı 0,873 doğruluk ve 0,647 MKK oranlarına erişmiştir. GAM sınıflandırıcısı ise 0,881 doğruluk ve 0,671 MKK oranlarına sahiptir. Toplam varyansın 0,7'sine sahip temel bileşenlerle deneyler yapıldıktan sonra sırasıyla 0,8 ve 0,9 varyans oranlarına sahip bileşenler seçilmiştir. Toplam varyans oranı 0,8 olduğunda seçilen bileşen sayısı 35 olurken; varyans oranı 0,9'a yükseldiğinde ise 83 bileşen seçilmiştir. Bir önceki deneyde olduğu gibi ÖÖE yöntemiyle seçilen öznitelik sayısı TBA ile aynı sayıdadır. Seçilmiş bu özniteliklerle elde edilen sonuçlar Tablo 4'te yer almaktadır. 35 öznitelikle TBA yöntemi hem DVM hem de GAM sınıflandırıcısıyla yaklaşık 0,84'lük doğruluk oranına erişmiştir. ÖÖE yönteminde ise GAM sınıflandırıcısı 0,873 doğruluk ve 0,644 MKK; DVM sınıflandırıcısı ise 0,861 doğruluk ve 0,607 MKK oranlarına sahiptir. 83 öznitelikle alınan sonuçlarda ise DVM ve GAM sınıflandırıcıları TBA yöntemiyle 0,85 civarında

doğruluk oranına ulaşmıştır. Doğruluk oranı ÖÖE yöntemiyle 0,86'ya kadar yükselirken, MKK oranı da 0,62 seviyesine çıkmıştır. Alınan tüm sonuçlar irdelendiğinde en yüksek sınıflandırma başarısına sadece 13 öznelik kullanılarak erişildiği görülmüştür. ÖÖE yöntemiyle seçilen 13 öznelikle GAM sınıflandırıcısı eğitilerek 0,881 doğruluk oranı elde edilmiştir. Doğruluk oranı öznelik seçimi yapılmadan elde edilen sonuçlara göre yaklaşık %2 oranında artmıştır. Aynı artış sınıfların ayırt edilebilirliğini gösteren MKK oranında da olmuştur. Boyutsallık indirgeme işlemi olmadan elde edilen MKK oranı 0,62 iken ÖÖE yöntemiyle öznelik seçimi yapıldığında oran 0,67'ye yükselmiştir.

## 5. Sonuç

İlerleyici bir sinir hastalığı olan Parkinson bireylerin yaşam kalitesini doğrudan etkilemektedir. PH'nin en yaygın belirtilerinden biri ses problemdir ve hastalığın erken evrelerde bireylerin ses özelliklerinde değişikliklere neden olmaktadır. Bu nedenle PH tespiti sistemlerinde bireylerin ses kayıtları sıklıkla kullanılır. Tespit sistemlerinde ham ses kayıtlarından sinyal işleme teknikleriyle ayırt edici öznelikler çıkarılır ve bu özneliklerle yapay öğrenme modelleri eğitilir. Sistemlerin yüksek doğruluğa sahip olması için bilgi içeren özneliklerin çıkarılması ve etkin yapay öğrenme yönteminin seçilmesi gereklidir. Yüksek doğruluklu ve güvenilirli sistemler hekimlerin iş yükünü azaltmayı ve kararlarını desteklemeyi hedefler. Bu amaçla yapılan çalışmada bireylerin ses kayıtlarından çıkarılan çeşitli öznelik kümelerinin yapay öğrenme yöntemlerine girdi olarak verildiği bir PH tanıma sistemi önerilmiştir. Çalışmada UCI veri deposundan elde edilen veri kümesi kullanılmıştır. Veri kümesinde 188'i Parkinson hastası olmak üzere toplam 252 bireye ait çoklu ses kayıtları vardır [21]. Bireylerin ses kayıtlarından farklı türde 754 öznelik çıkarılmıştır. Genişleyen öznelik uzayının boyutunu indirgemek için öznelikler üzerine TBA ve ÖÖE boyutsallık indirgeme yöntemleri uygulanmıştır. Kullanılan bu yöntemlerle farklı sayıda ilintili öznelikler seçilmiştir. İndirgenmiş öznelikler DVM ve GAM yapay öğrenme yöntemlerine girdi olarak verilmiş ve modeller BDBÇD prosedürüyle eğitilmiştir. Yapay öğrenme modellerinin performansları farklı ölçütlerle değerlendirilmiştir. Alınan tüm sonuçlar içerisinde en yüksek sınıflandırma başarısına ÖÖE yöntemi ve GAM sınıflandırıcısı çiftiyle erişilmiştir. ÖÖE-GAM çiftiyle yaklaşık olarak 0.881 doğruluk ve 0.67 MKK oranları yakalanmıştır. Bu başarı oranına ÖÖE indirgeme yöntemiyle seçilen sadece 13 öznelikle erişilmiştir. ÖÖE-GAM çiftinin sınıflandırma başarısı öznelik seçimi olmadan eğitilmiş modellerle de karşılaştırılmıştır. ÖEE-GAM çifti doğruluk oranını %2, MKK oranını ise %5 geliştirmiştir. Kullanılan diğer boyutsallık indirgeme yöntemi olan TBA ise öznelik seçimsiz modellere göre sınıflandırma başarısı arttırmamasına rağmen, aynı başarı oranlarına daha az sayıda öznelikle erişmiştir. Bu deneylerde kullanılan öznelik sayısı 752'den 13 kadar inmiştir. Ek olarak, deneysel sonuçlarımız Sakar ve diğ. çalışmasıyla da kıyaslanmıştır [21]. Bu çalışmada oluşturulan modellerin eğitim metodolojisi (veri seti, eğitim prosedürü ve değerlendirme ölçütlerini) çalışmamızla birebir benzerdir. Böylece çalışmamızda alınan deneysel sonuçlar doğrudan bu çalışmanın sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Sakar ve diğ. [16], çalışmalarının ilk aşamasında farklı ses öznelik kümelerini birleştirmiş ve bu özneliklerden MFMİ seçimiyle ilintili olanlarını seçmiştir. Seçilen bu özneliklerle farklı yapay öğrenme modelleri eğitilmiş ve DVM modeliyle 0.860'lık doğruluk ve 0.590'lık MKK oranları yakalanmıştır. Çalışmamızda önerilen ÖEE-GAM modeli Sakar ve diğ. tarafından önerilen modele göre doğruluk ve MKK oranlarını sırasıyla %2 ve %5 arttırmıştır (0.881 doğruluk ve 0.67 MKK oranları).

## Kaynakça

- [1]Launer, L. J., Berger, K., Breteler, M. M., Dartigues, J. F., Baldereschi, M., Fratiglioni, L., ... & Hofman, A. (2000). Prevalence of Parkinson's disease in Europe: A collaborative study of population-based cohorts. *Neurologic Diseases in the Elderly Research Group. Neurology*, 54(11 Suppl 5), S21-3.
- [2]Jankovic, J. (2008). Parkinson's disease: clinical features and diagnosis. *Journal of neurology, neurosurgery & psychiatry*, 79(4), 368-376.
- [3]Tsanas, A., Little, M. A., McSharry, P. E., & Ramig, L. O. (2009). Accurate telemonitoring of Parkinson's disease progression by noninvasive speech tests. *IEEE transactions on Biomedical Engineering*, 57(4), 884-893.
- [4]Sakar, B. E., Isenkul, M. E., Sakar, C. O., Sertbas, A., Gurgun, F., Delil, S., ... & Kursun, O. (2013). Collection and analysis of a Parkinson speech dataset with multiple types of sound recordings. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 17(4), 828-834.
- [5]Gürüler, H. (2017). A novel diagnosis system for Parkinson's disease using complex-valued artificial neural network with k-means clustering feature weighting method. *Neural Computing and Applications*, 28(7), 1657-1666.
- [6]Peker, M. (2016). A decision support system to improve medical diagnosis using a combination of k-medoids clustering based attribute weighting and SVM. *Journal of medical systems*, 40(5), 116.
- [7]Sakar, B. E., Serbes, G., & Sakar, C. O. (2017). Analyzing the effectiveness of vocal features in early telediagnosis of Parkinson's disease. *PloS one*, 12(8), e0182428.
- [8]Sharma, A., & Giri, R. N. (2014). Automatic recognition of Parkinson's Disease via artificial neural network and support vector machine. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 4(3), 2278-3075.
- [9]Shahbakhi, M., Far, D. T., & Tahami, E. (2014). Speech analysis for diagnosis of parkinson's disease using genetic algorithm and support vector machine. *Journal of Biomedical Science and Engineering*, 7(4), 147-156.
- [10]Kubota, K. J., Chen, J. A., & Little, M. A. (2016). Machine learning for large-scale wearable sensor data in Parkinson's disease: Concepts, promises, pitfalls, and futures. *Movement disorders*, 31(9), 1314- 1326.
- [11]Alemami, Y., & Almazaydeh, L. (2014). Detection of Parkinson disease through voice signal features. *The Journal of American Science*, 10(10), 44-47.
- [12]GÜNDÜZ, H., Cataltepe, Z., & Yaslan, Y. (2017). Stock daily return prediction using expanded features and feature selection. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 25(6), 4829-4840.

- [13]Sakar, C. O., Serbes, G., Gunduz, A., Tunc, H. C., Nizam, H., Sakar, B. E., ... & Apaydin, H. (2019). A comparative analysis of speech signal processing algorithms for Parkinson's disease classification and the use of the tunable Q-factor wavelet transform. *Applied Soft Computing*, 74, 255-263.
- [14]Little, M. A., McSharry, P. E., Hunter, E. J., Spielman, J., & Ramig, L. O. (2008). Suitability of dysphonia measurements for telemonitoring of Parkinson's disease. *IEEE transactions on biomedical engineering*, 56(4), 1015-1022.
- [15]Tsanas, A., Little, M. A., McSharry, P. E., Spielman, J., & Ramig, L. O. (2012). Novel speech signal processing algorithms for high-accuracy classification of Parkinson's disease. *IEEE transactions on biomedical engineering*, 59(5), 1264-1271.
- [16]Parisi, L., RaviChandran, N., & Manaog, M. L. (2018). Feature-driven machine learning to improve early diagnosis of Parkinson's disease. *Expert Systems with Applications*, 110, 182-190.
- [17]Oh, S. L., Hagiwara, Y., Raghavendra, U., Yuvaraj, R., Arunkumar, N., Murugappan, M., & Acharya, U. R. (2018). A deep learning approach for Parkinson's disease diagnosis from EEG signals. *Neural Computing and Applications*, 1-7.
- [18]Pereira, C. R., Weber, S. A., Hook, C., Rosa, G. H., & Papa, J. P. (2016, October). Deep learning-aided Parkinson's disease diagnosis from handwritten dynamics. In *2016 29th SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images (SIBGRAPI)* (pp. 340-346). Ieee.
- [19]Eskofier, B. M., Lee, S. I., Daneault, J. F., Golabchi, F. N., Ferreira-Carvalho, G., Vergara-Diaz, G., ... & Bonato, P. (2016, August). Recent machine learning advancements in sensor-based mobility analysis: Deep learning for Parkinson's disease assessment. In *2016 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*(pp. 655-658). IEEE.
- [20]Yunusova, Y., Weismer, G., Westbury, J. R., & Lindstrom, M. J. (2008). Articulatory movements during vowels in speakers with dysarthria and healthy controls. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*.
- [21]Selesnick, I. W. (2011). Wavelet transform with tunable Q-factor. *IEEE transactions on signal processing*, 59(8), 3560-3575.
- [22]Gunduz, H., & Cataltepe, Z. (2015). Borsa Istanbul (BIST) daily prediction using financial news and balanced feature selection. *Expert Systems with Applications*, 42(22), 9001-9011.
- [23]Bishop, C. M. (2006). *Pattern recognition and machine learning*. Springer.
- [24]Yücelbaş, Ş., & Yücelbaş, C. (2019). Temel Bileşen Analizi Yöntemleri Kullanarak Parkinson Hastalığının Otomatik Teşhisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 294-300.
- [25]Granitto, P. M., Furlanello, C., Biasioli, F., & Gasperi, F. (2006). Recursive feature elimination with random forest for PTR-MS analysis of agroindustrial products. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 83(2), 83-90.
- [26]Yan, K., & Zhang, D. (2015). Feature selection and analysis on correlated gas sensor data with recursive feature elimination. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 212, 353-363.
- [27]Weston, J., & Guyon, I. (2012). U.S. Patent No. 8,095,483. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [28]Suykens, J. A., & Vandewalle, J. (1999). Least squares support vector machine classifiers. *Neural processing letters*, 9(3), 293-300.
- [29]Freund, Y., & Schapire, R. E. (1996, July). Experiments with a new boosting algorithm. In *icml* (Vol. 96, pp. 148-156).
- [30]Schapire, R. E., & Freund, Y. (2013). *Boosting: Foundations and algorithms*. Kybernetes.
- [31]Friedman, J. H. (2001). Greedy function approximation: a gradient boosting machine. *Annals of statistics*, 1189-1232.
- [32] Yücelbaş, C., & Yücelbaş, Ş. (2019). AQDD Özelliklerine BBA Yöntemleri Uygulanarak Parkinson Hastalığının Otomatik Teşhisi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6, 50-58.
- [33] Gündüz, H., Yaslan, Y., & Çataltepe, Z. (2017). Intraday prediction of Borsa Istanbul using convolutional neural networks and feature correlations. *Knowledge-Based Systems*, 137, 138-148.



# Sulu Çözeltilerden Cr(VI)'nın Biyosorpsiyonunda *Pleurotus ostreatus*'un Biyokütle Olarak Kullanımının Araştırılması

Aslı Göçenoğlu Sarıkaya<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Bursa, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7161-7003)

(İlk Geliş Tarihi 6 Aralık 2019 ve Kabul Tarihi 31 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.656319)

**ATIF/REFERENCE:** Sarıkaya, A. G. (2019). Sulu Çözeltilerden Cr(VI)'nın Biyosorpsiyonunda *Pleurotus ostreatus*'un Biyokütle Olarak Kullanımının Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1173-1183.

## Öz

Bu çalışmada yenilebilir bir mantar türü olan *Pleurotus ostreatus*'un, sulu çözeltilerden Cr(VI) iyonlarının biyosorpsiyonu için biyosorbent olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Öncelikle *P. ostreatus*'un kütük üzerinde kültivasyonu gerçekleştirilmiş, uygun olgunluğa eriştikten sonra hasat edilmiştir. Daha sonra uygun çalışma koşullarının belirlenebilmesi için biyosorpsiyona pH, sıcaklık, süre ve iyon derişiminin etkisi incelenmiştir. Biyosorpsiyonun doğasının aydınlatılabilmesi bazı fizikokimyasal parametreler incelenerek, biyosorpsiyonun Freundlich izoterm modeline uyduğu rapor edilmiştir. Son olarak biyosorpsiyon mekanizması için termodinamik parametreler belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *Pleurotus ostreatus*, Biyosorpsiyon, Cr(VI).

## Investigation the Usage of *Pleurotus ostreatus* Biomass in Cr(VI) Biosorption from Aqueous Solutions

### Abstract

In this work, an edible mushroom *Pleurotus ostreatus* was used as a biosorbent for biosorption of Cr(VI) ions from aqueous solutions. First of all, cultivation of *P. ostreatus* was achieved and harvested after reaching optimum maturity. Then to determine the optimum conditions pH, temperature, contact time and initial ion concentration were investigated. To clarify the biosorption process some physicochemical parameters were examined and reported as biosorption process was fitted Freundlich isotherm model. In addition, the thermodynamic parameters were determined to explain biosorption mechanism.

**Keywords:** *Pleurotus ostreatus*, Biosorption, Cr(VI).

## 1. Giriş

Jeokimyasal bir element olan kromun birçok oksidasyon derecesi vardır. Doğada en yaygın ve en kararlı formu trivalent [Cr(III)] ve heksavalent [Cr(VI)] formlarıdır. Nötr pH ya da alkali koşullarda  $CrO_4^{2-}$  şeklinde bulunan Cr(VI)'nın, canlı organizmalar için Cr(III)'e göre 100 kat daha toksik ve 1000 kat daha mutajenik olduğu bilinmektedir (Chojnacka, 2010; Fernandez ve ark., 2010).

\* Sorumlu Yazar: Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Bursa, Türkiye, ORCID: 0000-0002-7161-7003, [agocenoğlu@uludag.edu.tr](mailto:agocenoğlu@uludag.edu.tr)

Elektro-kaplama, deri, maden, otomotiv gibi birçok fabrikanın atık sularına karışan Cr(VI)'nın Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı'nın (USEPA) ve Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) yüzey ve içme sularında izin verdiği üst limit değeri  $0.05 \text{ mg L}^{-1}$ 'dir (Tekerlekopoulou ve ark., 2013; Fernandez, 2018). Bu nedenle Cr(VI)'nin sulu ortamdan uzaklaştırılması için kimyasal çöktürme (Xie ve ark., 2017), membran prosesi (Kumbasar, 2008), elektrodializ (Sivakumar ve ark., 2014), fotokatalitik yıkım (Lu ve ark., 2017), iyon değişimi (Li ve ark., 2017) ve adsorpsiyon (Lin ve ark., 2018; Sethy ve Sahoo, 2019) gibi birçok farklı yöntemin kullanılabilirliği rapor edilmiştir. Uygulanabilirliğinin kolay ve ucuz olması, yüksek verimlilikte sonuç alınması ve endüstriyel uygulamalarda ikincil kirleticilerin ortaya çıkmaması gibi avantajlar sağlaması nedeniyle adsorpsiyon yöntemi diğer giderim yöntemlerine göre daha fazla tercih edilmektedir (Zhou ve ark., 2016).

Atık sulardan ağır metallerin biyosorpsiyonu fizikokimyasal yöntemlere alternatif olarak kullanılmaktadır. Biyosorpsiyon yönteminde talaş (Semerjian, 2018), ceviz/fındık kabuğu (Miyah ve ark., 2018), meyve çekirdeği (Altun, 2019), deniz yosunu (Yacou ve ark., 2018), mikroalg (Indhumathi ve ark., 2014), farklı bitkiler (Romero-Gonzalez ve ark., 2005; Gogoi ve ark., 2018; Gan ve ark., 2018), maya (De Rossi ve ark., 2018), bakteri (Bharagava ve Mishra, 2018) ve mantar (Xu ve ark., 2018; Lotlikar ve ark., 2018) gibi birçok farklı biyomateryal kullanılmaktadır. Canlı (aktif biyosorpsiyon) ve cansız (pasif biyosorpsiyon) mikroorganizmaların kullanıldığı iki farklı biyosorpsiyon çeşidi mevcuttur. Canlı hücrelerin besi yeri ihtiyacı, kolaylıkla kontamine olmaları, rejenerasyonunun olmaması, fazla miktarda ağır metale maruz kalarak ölmeleri gibi bazı dezavantajları mevcuttur. Bu nedenle biyosorpsiyon işleminde ölü hücrelerden elde edilen biyokütlelerin kullanımı daha yaygındır (Fernandez ve ark., 2018).

Halk arasında istiridye ya da kayın mantarı olarak da bilinen *Pleurotus ostreatus*, *Agaricus bisporus*'tan sonra Dünya'da en çok yetiştirilen ikinci yenilebilir mantar türüdür. Üretimünün ekonomik olmasının yanı sıra, medikal özelliklere de sahip olan *P. ostreatus*, diğer mantar türleri ile kıyaslandığında oldukça kısa sürede büyür. Kültivasyonu için gerekli substratların diğer mantarlarda olduğu gibi steril edilmesi zorunlu değildir, yalnızca pastörize edilerek de kültürasyon koşulları sağlanabilir. Bu da işlemin daha ucuz olmasını sağlar (Sanchez, 2009). Hücre duvarlarının kimyasal bileşimine bakıldığında, kitin asetamid, polisakkaritlerde bulunan hidroksil grupları, amino asitler, nükleik asitte bulunan fosfat grupları, aminler, amidler ve proteinlerde yer alan karboksil gruplarının bulunması nedeniyle metallerin bağlanması oldukça kolaydır (Arbanah ve ark., 2013). Bu nedenle biyosorbent olarak kullanım alanı bulmaktadır (Da Rocha Ferreira, 2019).

Bu çalışmanın amacı, *P. ostreatus* biyokütlesinin biyosorbent olarak kullanım alanının araştırılmasıdır. Bu amaçla biyosorbentin karakterizasyonu ve sulu çözeltilerden Cr(VI) iyonunun biyosorpsiyonu gerçekleştirilmiştir. pH, metal derişimi, sıcaklık, süre, biyosorbent miktarı, biyosorbentin rejenerasyonu ve tekrar kullanımı optimize edilmiştir. Ayrıca biyosorpsiyonun doğasının aydınlatılabilmesi için bazı fizikokimyasal parametreler de incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Biyokütlenin hazırlanması ve karakterizasyonu

Biyosorbent olarak kullanılan *P. ostreatus*'un kültürasyonu kütük üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kütüklere misel ekimi gerçekleştirildikten sonra, misel gelişimi tamamlanana kadar karanlık ortamda  $20-24 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 2 ay inkübe edilmiştir. Belli bir olgunluğa erişen *P. ostreatus* mantarı, biyosorpsiyon işlemi için hasat edilmiştir. *P. ostreatus* 3 kere destile su ile yıkandıktan sonra  $323 \text{ K}$ 'de kurutulmuştur. Homojenizatörle  $70-120 \text{ }\mu\text{m}$  aralığında parçalara ayrıldıktan biyokütle, cam kavanozda muhafaza edilmiştir.

Biyokütlenin karakterizasyonu için FTIR spektrofotometresi (Perkin Elmer Spectrum BX FTIR System), yüzey morfolojisinin aydınlatılabilmesi için taramalı elektron mikroskopu (SEM) kullanılmıştır (ZEISS EVO 40).

### 2.2. Cr(VI) iyonunun biyosorpsiyonu

Cr(VI)'nin stok çözeltisi ( $1000 \text{ mg L}^{-1}$ ) susuz potasyum dikromatın destile suda çözünmesiyle hazırlanmıştır. Biyosorpsiyon çalışmaları için stok çözelti  $10-500 \text{ mg L}^{-1}$  olacak şekilde destile su ile seyreltilerek hazırlanmıştır. Kesikli biyosorpsiyon çalışmaları için  $50 \text{ mL}$ 'lik erlenlere  $25 \text{ mL}$  bilinen derişimdeki Cr(VI) çözeltilerine  $0.05 \text{ g}$  *P. ostreatus* biyokütlesi konulmuştur. Biyosorpsiyona pH etkisinin araştırılması için,  $2.0-6.0$  pH aralığında çalışılmıştır. Çözeltilerin pH'ları  $0.1 \text{ N HCl}$  ve  $0.1 \text{ N NaOH}$  kullanılarak ayarlanmıştır. Biyosorpsiyona sıcaklığın etkisini belirlemek için sırasıyla  $277 \text{ K}$ ,  $298 \text{ K}$  ve  $318 \text{ K}$ 'de biyosorpsiyon gerçekleştirilmiştir. Biyokütle çözelti ortamından santrifüj ( $5000 \text{ rpm}$ ,  $10$  dakika) yardımı ile uzaklaştırıldıktan sonra, biyosorpsiyon sonunda ortamdaki Cr(VI) iyon derişiminin belirlenebilmesi için asidik ortamda 1,5-difenilkarbazid yöntemi kullanılarak UV spektrofotometre (Perkin Elmer Lambda 35 UV/Vis Spektrometre) ile  $540 \text{ nm}$  dalga boyunda ölçümler alınmıştır.

Çözeltide bulunan Cr(VI)'nin biyosorpsiyon kapasitesi ( $q_e$ ) Eşitlik 1'de verilmiştir:

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (1)$$

Denklemden  $C_0$  değeri başlangıç Cr(VI) iyonu derişimini ( $\text{mg L}^{-1}$ ),  $C_e$  değeri denge halindeki Cr(VI) iyonu derişimini,  $V$  çözeltilerin toplam hacmini ( $\text{mL}$ ),  $m$  ise kullanılan biyokütle miktarını ( $\text{g}$ ) vermektedir.

### 2.3. İzoterm modelinin belirlenmesi

Biyokütle yüzeyinde gerçekleşen biyosorpsiyon olayı, Langmuir, Freundlich, Sips (Langmuir-Freundlich) izoterm modelleri ile açıklanmıştır. Langmuir izoterm modeli Eşitlik 2'de gösterilmiştir (Langmuir, 1918):

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{Q_L K_L} + \frac{C_e}{Q_L} \quad (2)$$



$q_e$  denge anında biyokütle üzerinde adsorplanan Cr(VI) iyonu miktarını ( $\text{mg g}^{-1}$ ),  $C_e$  dengedeki çözeltide adsorplanmadan kalan Cr(VI) iyon derişimini ( $\text{mg L}^{-1}$ ),  $Q_L$  maksimum adsorpsiyon kapasitesini ( $\text{mg g}^{-1}$ ),  $K_L$  adsorpsiyon enerjisi ile ilgili Langmuir sabitini göstermektedir. Deneysel sonuçlar  $C_e$ 'ye karşı çizilen  $C_e/q_e$  grafiği ile Eşitlik 2'deki denklemden yararlanılarak  $Q_L$  ve  $K_L$  değerleri hesaplanmıştır (El-Halwany, 2010).

Freundlich izoterm modeli Eşitlik 3'te verilmiştir (Freundlich, 1906):

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (3)$$

$K_F$  adsorpsiyon kapasitesini ( $\text{mg g}^{-1}$ ),  $n$  Freundlich izoterm sabitini göstermektedir. Langmuir ve Freundlich izoterm modellerinin birlikte kullanılmasıyla geliştirilen Sips izoterm modeli (Foo ve Hameed, 2010) Eşitlik 4'te verilmiştir:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{Q_{max}K_S} \left(\frac{1}{C_e}\right)^{1/n} + \frac{1}{Q_{max}} \quad (4)$$

$K_S$  Sips izoterm modeli sabitini ( $\text{L mg}^{-1}$ ),  $n$  Sips modeli sabitini ( $\text{mg}$ ),  $Q_{max}$  maksimum adsorpsiyon kapasitesini ( $\text{mg g}^{-1}$ ) vermektedir.

## 2.4. Cr(VI) iyonunun desorpsiyonu

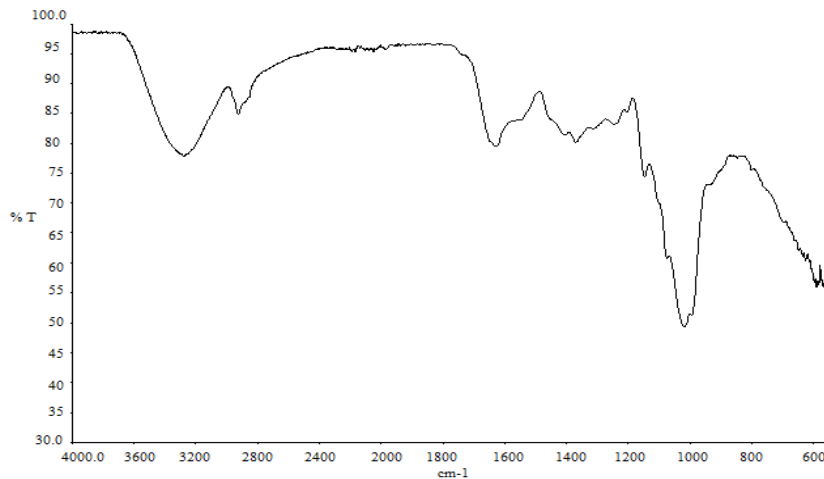
Desorpsiyon çalışmaları için desorpsiyon ajanı olarak 0.1 M  $\text{HNO}_3$  ve 0.1 M  $\text{HCl}$  çözeltileri kullanılmıştır. Cr(VI) iyonu adsorbe olmuş biyoküteller çalkalamalı inkübatöre konularak 24 saat boyunca 298 K'de 150 rpm çalkalama hızında karıştırılmıştır.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

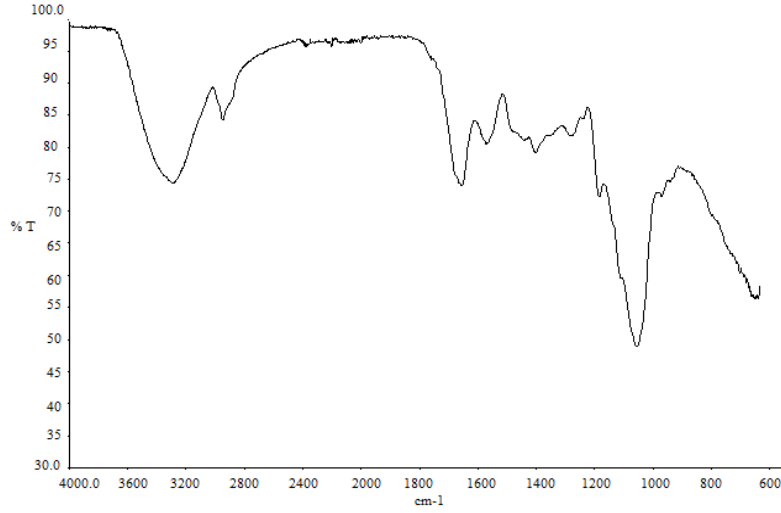
### 3.1. Biyokütlenin hazırlanması ve karakterizasyonu

*P. ostreatus* misellerinin (HK-35) kültivasyonu kütükte gerçekleştirilmiştir. Kütüklere 40 cm uzunluğunda, 22 mm genişliğinde belli aralıklardaki deliklere misellerin ekimi yapılmıştır. Kütükler karanlık ortamda, ışık geçirmeyen kalın siyah torbaların içerisinde yaklaşık 20-24 °C sıcaklıkta 2 ay inkübasyona bırakılmış ve misel gelişim süresi takip edilmiştir. Misel gelişim dönemi tamamlandıktan sonra, mantarların büyümesi yaklaşık 5-7 gün sürmüştür. Uygun hasat büyüklüğüne ulaşan mantarlar toplandıktan sonra uygun işlemlerden geçirilerek biyokütle olarak kullanılmak üzere saklanmıştır.

Biyokütlenin biyosorpsiyon öncesinde ve sonrasında FTIR spektrumu alınarak, Cr(VI) biyosorpsiyonu için etkili olan fonksiyonel gruplar aydınlatılmıştır. Şekil 1'de biyokütleye ait FTIR spektrumları verilmiştir. Elde edilen verilere göre  $1625 \text{ cm}^{-1}$ 'de görülen pik biyosorpsiyon sonucu  $1630 \text{ cm}^{-1}$ 'e kaymıştır. Bu da serbest karboksil gruplarının karboksilata dönüştüğünü göstermektedir (Chen ve ark., 2008).  $3277\text{-}3280 \text{ cm}^{-1}$  aralığında yer alan bantlar bağlanmış -OH ve -NH gruplarını (Bayramoğlu ve Arıca, 2008),  $2922 \text{ cm}^{-1}$ 'de görülen bantlar ise C-H gerilmesini temsil etmektedir.  $1546 \text{ cm}^{-1}$ 'de görülen pik N-H deformasyonunu,  $1370 \text{ cm}^{-1}$ ,  $1147 \text{ cm}^{-1}$  ve  $1018 \text{ cm}^{-1}$ 'de gözlenen pikler ise sırasıyla -COO gerilmesi, karboksilik asit, -C-O- ve -C-N- gruplarını göstermektedir. (Akar ve ark., 2009; Fereidouni ve ark., 2009; Bhanoori ve Venkateswerlu, 2010; Sugashini ve Begum, 2013). Elde edilen sonuçlara göre, karboksil, hidroksil ve amin gibi fonksiyonel grupların varlığı, membran bileşenlerinin ve mikrobiyal hücre duvarının metal biyosorpsiyonunda önemli bir rol aldığıın kanıtıdır (Malkoç ve ark., 2006; Ertugay ve Bayhan, 2008; Joo ve ark., 2010).



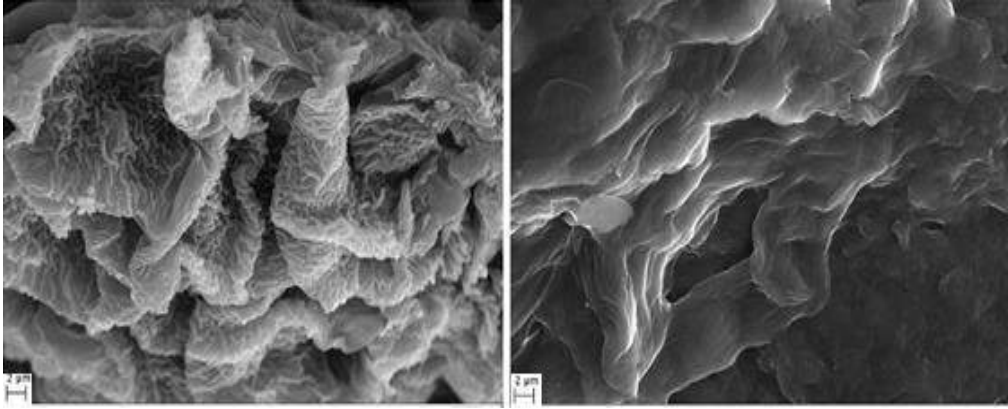
(a)



(b)

Şekil 1. *P. ostreatus* biyokütlesinin Cr(VI) biyosorpsiyonu (a) öncesi ve (b) sonrası FTIR spektrumları

Yüzey morfolojisinin aydınlatılabilmesi için biyosorpsiyondan önce ve sonra biyokütlenin SEM görüntüleri alınmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yüzey alanı oldukça geniştir, bu da bağlanmanın daha kolay olabileceğinin bir kanıtıdır. Şekil 2’de görüldüğü gibi biyosorpsiyon öncesi daha pürüzlü olan yüzey, biyosorpsiyondan sonra yüzeye metal iyonlarının bağlanmasıyla daha homojen ve pürüzsüz bir hale gelmiştir (Göçenoğlu Sarıkaya, 2019; Noormohamadi ve ark., 2019). Bu da Cr(VI)’nın aktif bölgelere bağlanarak yapıyı değiştirdiğini göstermektedir.



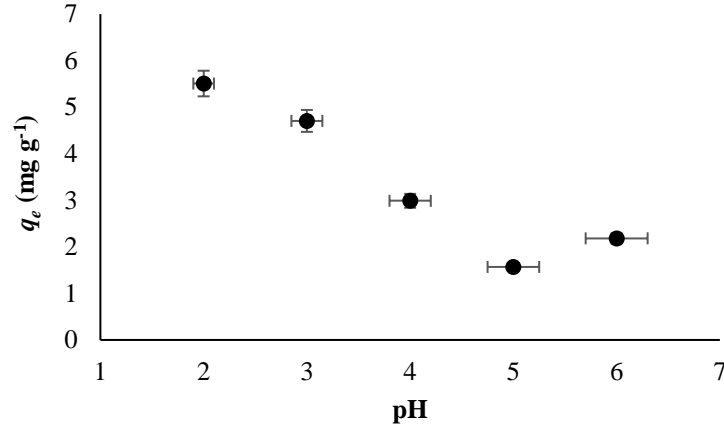
(a)

(b)

Şekil 2. *P. ostreatus* biyokütlesinin Cr(VI) biyosorpsiyonu (a) öncesi ve (b) sonrası SEM görüntüleri

### 3.2. pH’in Cr(VI) biyosorpsiyonuna etkisi

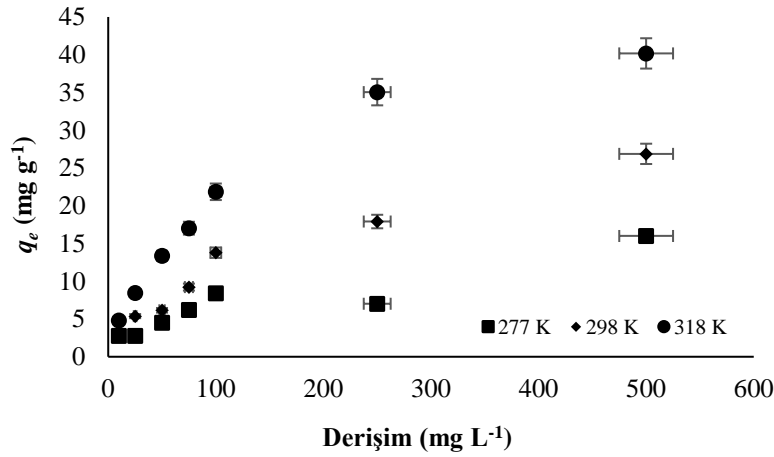
Ağır metallerin sulu ortamdan biyosorpsiyonunda pH oldukça önemli bir parametredir. Ortamın pH değeri mikrobiyal hücre duvarlarında bulunan iyonlaşabilir fonksiyonel grupların iyonlaşma derecesini etkileyerek, biyokütlenin yüzey yükünün değişmesine yol açmaktadır (Mondal ve ark., 2017). Bu çalışmada optimum pH değerinin bulunabilmesi için pH: 2.0-6.0 aralığında biyosorpsiyon gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilere göre,  $q_e$ ’nin en yüksek olduğu pH değeri 2.0’dır ( $q_e$ : 5.51 mg g<sup>-1</sup>). pH değerinin artmasıyla  $q_e$  değerinde azalma gözlenmektedir (Şekil 3). pH 2.0’de çözelti ortamında yaygın olarak bulunan HCrO<sub>4</sub><sup>-</sup>’ın yanı sıra Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>2-</sup> ve CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup> de bulunmaktadır. Düşük pH’larda ortamda bulunan H<sup>+</sup> iyonları nedeniyle, fungal hücre duvarı pozitif yüklü olur. Bu da HCrO<sub>4</sub><sup>-</sup> iyonları ve hücre duvarı arasında kuvvetli bir etkileşimin olmasına yol açar (Shafey, 2005). pH değerinin artması ile, biyokütlenin yüzeyi nötr hale gelir ve biyosorpsiyon azalır. Biyokütle yüzeyinin negatif yüklü olmasıyla biyosorpsiyonda keskin bir düşüş gözlenir (Wang ve ark., 1989; Sanghi ve ark., 2009). Elde edilen verilere göre biyosorpsiyon için en uygun pH değeri 2.0 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3. Cr(VI) biyosorpsiyonuna pH'nin etkisi (Cr(VI) derişimi: 10 mg L<sup>-1</sup>, süre: 180 d, sıcaklık: 298 K, biyokütle miktarı: 0.05 g)

### 3.3. Sıcaklık ve derişimin Cr(VI) biyosorpsiyonuna etkisi

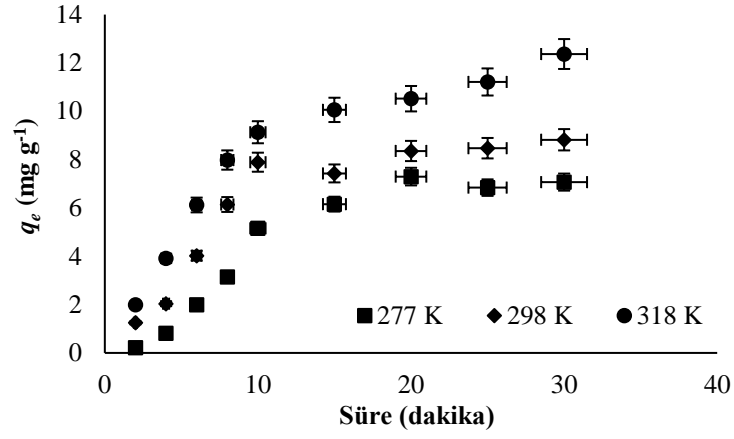
Biyosorpsiyon kimyasında en önemli parametrelerden biri de sıcaklıktır (Mondal ve ark., 2017). Biyosorpsiyona Cr(VI) iyon derişimi ve sıcaklık etkisi belirlenmiştir. Biyosorpsiyon pH: 2.0'da üç farklı sıcaklıkta 180 dakikada gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, sıcaklık ve derişimin artması ile  $q_e$  de artmaktadır. 10 mg L<sup>-1</sup> derişimde gerçekleştirilen biyosorpsiyon sonunda  $q_e$  değeri 277 K'de 2.78 mg mL<sup>-1</sup>, 298 K'de 3.24 mg mL<sup>-1</sup>, 318 K'de 4.79 mg mL<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. Derişimin artmasıyla  $q_e$  değeri de artış göstermektedir. 500 mg L<sup>-1</sup> derişim için  $q_e$  değeri 277 K'de 15.99 mg mL<sup>-1</sup>, 298 K'de 26.87 mg mL<sup>-1</sup> ve 318 K'de 40.17 mg mL<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur (Şekil 4).



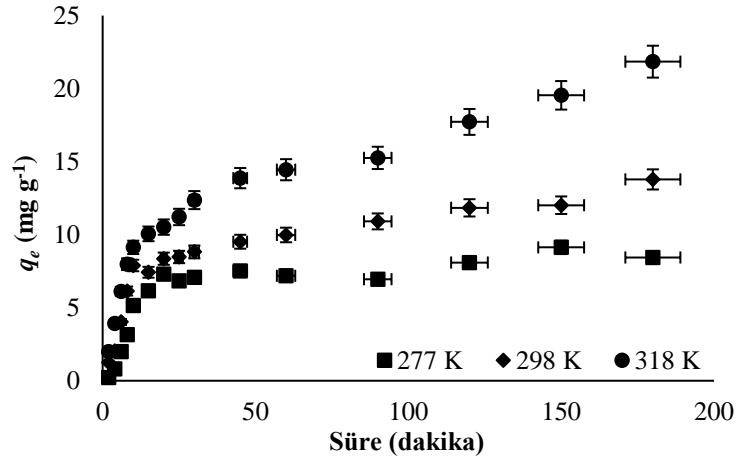
Şekil 4. Cr(VI) biyosorpsiyonuna sıcaklığın ve derişimin etkisi (pH: 2.0, süre: 180 d, biyokütle miktarı: 0.05 g)

### 3.4. Cr(VI) biyosorpsiyonunun zamana bağlı derişimi

Biyosorpsiyonun zamana bağlı derişiminin belirlenebilmesi her üç sıcaklıktaki biyosorpsiyon sonunda  $q_e$  277 K'de 10. dakikada 5.16 mg g<sup>-1</sup>, 180. dakikada 8.44 mg g<sup>-1</sup> olarak tespit edilmiştir. 318 K'de ise 10. dakikada 9.13 mg g<sup>-1</sup>, 180. dakikada 21.85 mg g<sup>-1</sup>'dir (Şekil 5b). Buna göre, biyosorpsiyon özellikle yüksek sıcaklık değerlerinde ilk 15 dakikada hızlı bir şekilde gerçekleşirken, ilerleyen zamanlarda daha yavaş gerçekleşmektedir.



(a)



(b)

Şekil 5. Cr(VI) biyosorpsiyonunun farklı sıcaklıklardaki zamana bağlı değişimi (a) 30 dakika, (b) 180 dakika (pH: 2.0, Cr(VI) derişimi: 100 mg L<sup>-1</sup>, biyokütle miktarı: 0.05 g)

### 3.5. Adsorpsiyon izotermi

Biyosorpsiyonun doğasının aydınlatılabilmesi için Langmuir, Freundlich, Sips sorpsiyon izoterm modelleri uygulanmıştır (Tablo 1). Langmuir izoterm modeline göre sorpsiyon tek tabakalı bir yüzeyde sınırlı fonksiyonel bağlanma bölgelerinde gerçekleşir. Freundlich izoterm modelinde biyosorpsiyon kapasitesi ( $K_F$ ) ve heterojenite faktörü ( $1/n$ ) değerleri hesaplanmıştır.  $1/n$  değerinin sıfıra yakın olması yüzeyin heterojen olduğunun bir göstergesidir (Özudoğru ve Merdivan, 2017). Korelasyon ( $R^2$ ) değerlerine bakıldığında Langmuir ve Freundlich izoterm modellerine ait değerler Sips izoterm modeline göre daha yüksek çıkmıştır. Langmuir izoterm modelinde hesaplanan  $Q_L$  değerleri ile deneysel  $q_e$  değerleri kıyaslandığında düşük sıcaklıklarda bu modele uygun olmadığı fakat yüksek sıcaklıklarda uyum gösterdiği gözlenmiştir. Bunun yanı sıra, Freundlich izoterm modeli heterojen yüzeyler için karakteristiktir. Freundlich izoterm modelinde  $n$  değerinin genellikle 1'den küçük olması, biyosorpsiyonun bu modele uygun olduğunu gösterir. Elde edilen veriler diğer literatür sonuçlarıyla kıyaslandığında mevcut çalışmada kullanılan fungal biyosorbentin yüksek sıcaklıklardaki Cr(VI) iyonu için biyosorpsiyon kapasitesi oldukça yüksektir (Tablo 2).

Tablo 1. *P. ostreatus* biyokütlesinin Cr(VI) biyosorpsiyonu için izoterm modelleri

	Sıcaklık (K)		
	277	298	318
<b>Langmuir İzoterm Modeli</b>			
$K_L \times 10^2$ (L mg <sup>-1</sup> )	0.74	0.61	0.81
$Q_L$ (mg g <sup>-1</sup> )	37.73	33.90	50.25
R <sup>2</sup>	0.92	0.93	0.99
<b>Freundlich İzoterm Modeli</b>			
$K_F$ (L mg <sup>-1</sup> )	0.66	0.13	0.15
$n$	0.75	0.65	0.54
R <sup>2</sup>	0.86	0.96	0.98
<b>Sips İzoterm Modeli</b>			
$K_S \times 10^2$ (L mg <sup>-1</sup> )	10.59	0.80	7.19
$Q_{max}$ (mg g <sup>-1</sup> )	11.04	11.81	20.83
R <sup>2</sup>	0.83	0.83	0.97

Tablo 2. Farklı biyosorbentler tarafından gerçekleştirilen Cr(VI) biyosorpsiyonu

Biyosorbent	Biyosorpsiyon kapasitesi	pH	Süre	Sıcaklık (K)	İzoterm modeli	Referans
<i>Arthrobacter viscous</i>	20.37 mg g <sup>-1</sup>	1.0	48 saat	299	Langmuir	Hlihor ve ark., 2017
Kimyasal olarak modifiye edilmiş <i>Ziziphus mauritiana</i> (hünnap) çekirdeği	87.32 mg g <sup>-1</sup>	3.5	300 saat	293	Redlich-Peterson	Albadarin ve ark., 2017
<i>Scenedesmus</i> sp.	% 92.89	1.0	120 dakika	303	Langmuir ve Freundlich	Pradhan ve ark., 2019
<i>Caryota urens</i>	100 mg g <sup>-1</sup>	2.0	120 dakika	333	Langmuir ve Redlich Peterson	Rangabhashiyam ve Selvaraju, 2015
<i>Ulva compressa</i> L.	21.66 mg g <sup>-1</sup>	~ 2	120 dakika	323	Langmuir	Aid ve ark., 2018
Kimyasal olarak modifiye edilmiş <i>Lagerstroemia speciosa</i> kabuğu	24.39 mg g <sup>-1</sup>	1.16	90 dakika	313	Temkin	Srivastava ve ark., 2015
<i>Enteromorpha</i> sp.	5.35 mg g <sup>-1</sup>	2.0	160 dakika	303	Langmuir ve Freundlich	Rangabhashiyam ve ark., 2016
Nar çekirdeği	3.31 mg g <sup>-1</sup>	2.0	120 dakika	298	-	Ghaneian ve ark., 2017
<i>Pleurotus ostreatus</i>	179.13 mg g <sup>-1</sup>	2.0	180 dakika	318	Freundlich	<b>Mevcut çalışma</b>



### 3.6. Adsorpsiyon termodinamiği

Serbest enerji değişimi ( $\Delta G^\circ$ ), entalpi değişimi ( $\Delta H^\circ$ ) ve entropi değişimi ( $\Delta S^\circ$ ) gibi termodinamik parametreler (Tablo 3) her üç sıcaklık değeri için van't Hoff eşitliğinden yararlanılarak hesaplanmıştır (Eşitlik 6).

$$\ln K_L = -\frac{\Delta H^\circ}{RT} + \frac{\Delta S^\circ}{R} \quad (6)$$

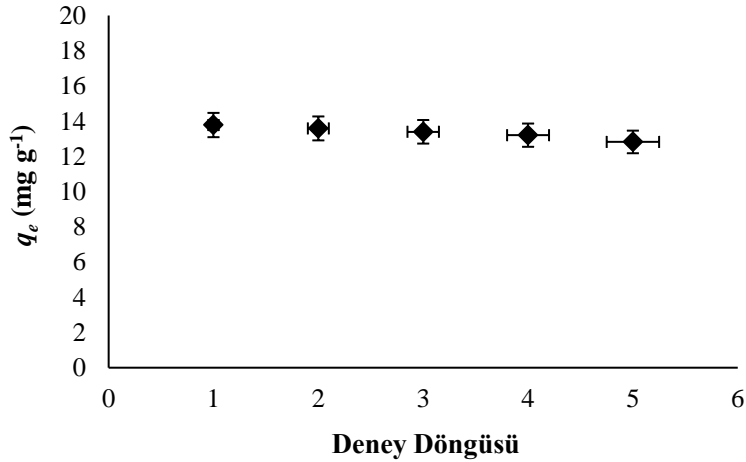
$K_L$  Langmuir sabiti,  $T$  mutlak sıcaklık (K),  $R$  evrensel gaz sabiti ( $8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ )'dir.  $\Delta H^\circ$  ve  $\Delta S^\circ$ ,  $\ln K_L$ 'ye karşı çizilen  $1/T$  grafiğinden elde edilen doğrunun eğiminden ve kesim noktasından bulunabilir.  $\Delta H^\circ$  değerinin negatif olması, biyosorpsiyonun ekzotermik karakterde olduğunu gösterir. Bunun yanı sıra,  $\Delta G^\circ$  değerinin her üç sıcaklık değeri için negatif çıkması biyosorpsiyonun kendiliğinden gerçekleştiğinin bir ispatıdır.

Tablo 3. *P. ostreatus* biyokütlesinin Cr(VI) biyosorpsiyonu için termodinamik parametreler

T (K)	$\Delta H^\circ$ (kJ mol <sup>-1</sup> )	$\Delta S^\circ$ (J mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	$\Delta G^\circ$ (kJ mol <sup>-1</sup> )
277			-2.93
298	-5.94	-10.85	-2.70
318			-2.48

### 3.7. Desorpsiyon ve tekrar kullanım

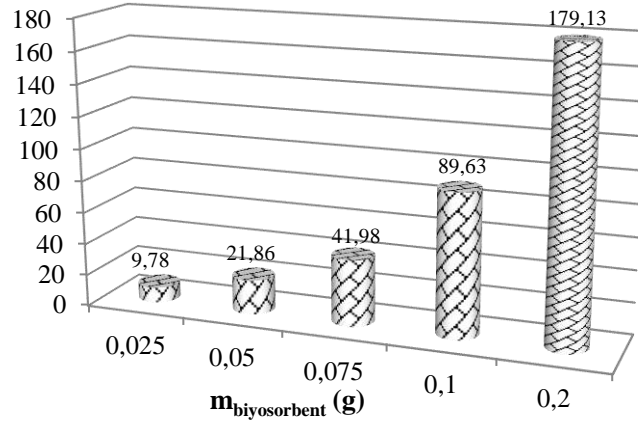
Biyosorpsiyona dayalı teknolojilerin geliştirilmesinde bir diğer önemli parametre biyokütlenin tekrar kullanımına olanak veren desorpsiyon işlemidir. Kullanılan desorpsiyon ajanının biyokütleyi yıkıma uğratmaması ya da zarar vermemesi gerekir (Fomina ve Gadd, 2014). Desorpsiyon verimi HNO<sub>3</sub> için % 96.28 olarak hesaplanırken HCl için bu değer % 42.93'dür. *P. ostreatus* biyokütlesinin biyosorbent olarak tekrar kullanımının araştırılabilmesi için 5 tekrarlı biyosorpsiyon-desorpsiyon işlemi uygulanmış ve biyosorpsiyon kapasitesinin yalnızca % 7 oranında düştüğü tespit edilmiştir (Şekil 6). Buna göre biyokütlenin sulu çözeltilerden Cr(VI) biyosorpsiyonu için uygun bir biyosorbent olarak kullanılabileceğini ispatlamaktadır.



Şekil 6. Biyosorpsiyon-desorpsiyon döngüsü (pH: 2.0, Cr(VI) derişimi: 100 mg L<sup>-1</sup>, sıcaklık: 298 K, süre: 24 saat, biyokütle miktarı: 0.05 g)

### 3.8. Biyokütle miktarının belirlenmesi

Uygun biyosorbent miktarının belirlenebilmesi için farklı miktarlarda (0.025 g-0.2 g) biyokütle kullanılarak biyosorpsiyon gerçekleştirilmiştir. Biyokütle miktarının artmasıyla  $q_e$ 'de de artış gözlenmiştir. Bu artışın sebebi olarak Cr(VI) iyonlarının sulu çözeltide biyosorbent yüzeyiyle etkileşime girmesi gösterilebilir. Elde edilen sonuçlara göre 0.025 g, 0.05 g, 0.075 g, 0.1 g ve 0.2 g için  $q_e$  sırasıyla 9.78 mg g<sup>-1</sup>, 21.86 mg g<sup>-1</sup>, 41.98 mg g<sup>-1</sup>, 89.63 mg g<sup>-1</sup> ve 179.13 mg g<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur (Şekil 7).



Şekil 7. Cr(VI) biyosorpsiyonuna biyosorbent miktarının etkisi (pH: 2.0, Cr(VI) derişimi: 100 mg L<sup>-1</sup>, süre: 180 d, sıcaklık: 318 K)

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, *P. ostreatus* biyokütlesi kullanılarak sulu çözeltilerden Cr(VI) iyonunun biyosorpsiyonu çalışılmış ve biyosorbent olarak kullanım potansiyeli araştırılmıştır. Sulu çözeltilerden Cr(VI) biyosorpsiyonu için optimum pH 2.0 olarak bulunmuştur. Sıcaklığın 277 K'den 318 K'e çıkmasıyla  $q_e$  değeri 8.44 mg mL<sup>-1</sup>'den 21.85 mg mL<sup>-1</sup>'ye çıkmıştır. Bu değer biyosorbent miktarının artmasıyla da doğru orantılıdır. Biyosorpsiyon yüksek sıcaklık değerleri için Freundlich izoterm modeline uymaktadır. Ayrıca biyosorpsiyon mekanizması için standart serbest enerji, standart entalpi ( $\Delta H^0 = -5.94$  kJ mol<sup>-1</sup>) ve standart entropi ( $\Delta S^0 = -10.85$  J mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>) değerleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak *P. ostreatus*'tan elde edilen biyokütlenin sulu çözeltilerden Cr(VI) biyosorpsiyonu için uygun bir biyosorbent olduğu saptanmıştır.

#### Kaynakça

- Aid A, Amokrane S, Nibou D, Mekatel E, Trari M, Hulea V. 2018. Modeling biosorption of Cr(VI) onto *Ulva compressa* L. from aqueous solutions. *Water Science and Technology*, 77(1): 60-69.
- Akar T, Kaynak Z, Ulusoy S, Yuvaci D, Ozsari G, Akar ST, 2009. Enhanced biosorption of nickel(II) ions by silica-gel-immobilized waste biomass: Biosorption characteristics in batch and dynamic flow mode. *Journal of Hazardous Materials*, 163 (2-3): 1134-1141.
- Albadarın AB, Solomon S, Kurniawan TA, Mangwandi C, Walker G. 2017. Single, simultaneous and consecutive biosorption of Cr(VI) and Orange II onto chemically modified masau stones. *Journal of Environmental Management*, 204(1): 365-374.
- Altun T, 2019. Chitosan-coated sour cherry kernel Shell beads: an adsorbent for removal of Cr(VI) from acidic solutions. *Journal of Analytical Science and Technology*, 10 (14): 1-10.
- Arbanah M, Miradatul NMR, Halim KKH, 2013. Utilization of *Pleurotus ostreatus* in the removal of Cr(VI) from chemical laboratory waste. *Int Refreed Journal of Engineering Science*, 2: 29-39.
- Bayramoğlu G ve Arıca MY, 2008. Removal of heavy mercury(II), cadmium(II) and zinc(II) metal ions by live and heat inactivated *Lentinus edodes* pellets. *Chemical Engineering Journal*, 143: 133-140.
- Bhanoori M ve Venkateswerlu G, 2000. In vivo chitin-cadmium complexation in cell wall of *Neurospora crassa*. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 1523 (1): 21-28.
- Bharagava RN ve Mishra S, 2018. Hexavalent chromium reduction potential of *Cellulosimicrobium* sp. isolated from common effluent treatment plant of tannery industries. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 147: 102-109.
- Chen G, Zeng G, Tang L, Du C, Jiang X, Huang G, Liu H, Shen G, 2008. Cadmium removal from simulated wastewater to biomass byproduct of *Lentinus edodes*. *Bioresource Technology*, 99 (15): 7034-7040.
- Chojnacka K, 2010. Biosorption and bioaccumulation-the prospects for practical applications. *Environment International*, 36: 299-307.
- Da Rocha Ferreira GL, Vendruscolo F, Filho NRA, 2019. Biosorption of hexavalent chromium by *Pleurotus ostreatus*. *Heliyon*, 5 (3): e01450.
- De Rossi A, Rigon MR, Zapparoli M, Braido RD, Colla LM, Dotto GL, Piccin JS, 2018. Chromium(VI) biosorption by *Saccharomyces cerevisiae* subjected to chemical and thermal treatments. *Environmental Science and Pollution Research*, 25 (19): 19179-19186.
- Ertugay N ve Bayhan YK, 2008. Biosorption of Cr(VI) from aqueous solutions by biomass of *Agaricus bisporus*. *Journal of Hazardous Materials*, 154: 432-439.
- Fereidouni M, Daneshi A, Younesi H, 2009. Biosorption equilibria of binary Cd(II) and Ni(II) systems onto *Saccharomyces cerevisiae* and *Ralstonia eutropha* cells: application of response surface methodology. *Journal of Hazardous Materials*, 168 (2-3): 1437-1448.
- Fernandez PM, Farina JI, Figueroa LIC, 2010. The significance of inoculum standardization and cell density on the Cr(VI) bioremediation by environmental yeast isolates. *Water, Air, Soil Pollution*, 212: 275-279.

- Fernandez PM, Vinarta SC, Bernal AR, Cruz EL, Figueroa LIC, 2018. Bioremediation strategies for chromium removal: current research, scale-up approach and future perspectives. *Chemosphere*, 208: 139-148.
- Foo KY ve Hameed BH, 2010. Insights into the modelling of adsorption isotherm systems. *Chemical Engineering Journal*, 156 (1): 2-10.
- Freundlich H, 1906. Over the adsorption in solution. *The Journal of Physical Chemistry*, 57: 385.
- Gan L, Zhou F, Owens G, Chen Z, 2018. *Burkholderia cepacia* immobilized on eucalyptus leaves used to simultaneously remove malachite green (MG) and Cr(VI). *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 172 (1): 526-531.
- Ghaneian MT, Bhatnagar A, Ehmpoush MH, Amrollahi M, Jamshidi B, Dehvari M, Taghavi M. 2017. Biosorption of hexavalent chromium from aqueous solution onto pomegranate seeds: kinetic modeling studies. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 14(2): 331-340.
- Gogoi S, Chakraborty S, Saikia MD, 2018. Surface modified pineapple crown leaf for adsorption of Cr(VI) and Cr(III) ions from aqueous solution. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6 (2): 2492-2501.
- Göçenoğlu Sarıkaya A, 2019. Kinetic and thermodynamic studies of the biosorption of Cr (VI) in aqueous solutions by *Agaricus campestris*. *Environmental Technology*, DOI: 10.1080/09593330.2019.1620867
- Hameed BH, Ahmad AL, Latiff KNA, 2007. Adsorption of basic dye (methylene blue) onto activated carbon prepared from rattan sawdust. *Dyes and Pigments*, 75: 143-149.
- Hlihor RM, Figueiredo H, Tavares T, Gavrilescu M. 2017. Biosorption potential of dead and living *Arthrobacter viscosus* biomass in the removal of Cr(VI): Batch and column studies, *Process Safety and Environmental Protection*, 108: 44-56.
- Indhumathi P, Syed Shabudeen PS, Shoba US, Saraswathy CP, 2014. The removal of chromium from aqueous solution by using green micro algae. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 6 (6): 799-808.
- Joo JH, Hassan SHA, Oh SE, 2010. Comparative study of biosorption of Zn<sup>2+</sup> by *Pseudomonas aeruginosa* and *Bacillus cereus*. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 64 (8): 734-741.
- Kumbasar RA, 2008. Selective separation of chromium(VI) from acidic solutions containing various metal ions through emulsion liquid membrane using trioctylamine as extractant. *Separation and Purification Technology*, 64 (1): 56-62.
- Langmuir I, 1918. The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. *Journal of American Chemical Society*, 40: 1361-1403.
- Li LL, Feng XQ, Han RP, Zang SQ, Yang G, 2017. Cr(VI) removal via anion Exchange on a silver-triazolate MOF. *Journal of Hazardous Materials*, 321: 622-628.
- Lin C, Luo W, Luo T, Zhou Q, Li H, Jing L, 2018. A study on adsorption of Cr(VI) by modified rice straw: Characteristics, performances and mechanism. *Journal of Cleaner Production*, 196: 626-634.
- Lotlikar NP, Damare SR, Meena RM, Linsy P, Mascarenhas B, 2018. Potential of marine-derived fungi to remove hexavalent chromium pollutant from culture broth. *Indian Journal of Microbiology*, 58 (2): 1982-1992.
- Lu D, Yang M, Fang P, Li C, Jiang L, 2017. Enhanced photocatalytic degradation of aqueous phenol and Cr(VI) over visible-light-driven Tb<sub>x</sub>O<sub>y</sub> loaded TiO<sub>2</sub>-oriented nanosheets. *Applied Surface Science*, 399: 167-184.
- Malkoç E, Nuhoglu Y, Abalı Y, 2006, Cr(VI) adsorption by waste acorn of *Quercus ithaburensis* in fixed beds: Prediction of breakthrough curves. *Chemical Engineering Journal*, 119: 61-68.
- Miyah Y, Lahrichi A, Idrissi M, Khalil A, Zerrouq F, 2018. Adsorption of methylene blue dye from aqueous solutions onto walnut shells powder: equilibrium and kinetic studies. *Surfaces and Interfaces*, 11: 74-81.
- Mondal NK, Samanta A, Dutta S, Chattoraj S, 2017. Optimization of Cr(VI) biosorption onto *Aspergillus niger* using 3-level Box-Behnken design: Equilibrium, kinetic, thermodynamic and regeneration studies. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 15: 151-160.
- Noormohamadi HR, Fat'hi MR, Ghaedi M, Ghezelbash GR, 2019. Potentiality of White-rot fungi in biosorption of nickel and cadmium: Modeling optimization and kinetics study. *Chemosphere*, 216: 124-130.
- Özüdoğru Y ve Merdivan M, 2017. Metilen mavisinin modifiye edilmiş *Cystoseira barbata* (stackhouse) c. agaridh kullanılarak biyosorpsiyonu. *Trakya University Journal of Natural Science*, 18 (2): 81-87.
- Pradhan D, Sukla LB, Mishra BB, Devi N. 2019. Biosorption for removal of hexavalent chromium using microalgae *Scenedesmus sp.*, *Journal of Cleaner Production*, 209: 617-629.
- Rangabhashiyam S ve Selvaraju N. 2015. Evaluation of the biosorption potential of a novel *Caryota urens* inflorescence waste biomass for the removal of hexavalent chromium from aqueous solutions. *Journal of Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 47: 59-70.
- Rangabhashiyam S, Suganya E, Lity AV, Selvaraju N. 2016. Equilibrium and kinetics studies of hexavalent chromium biosorption on a novel green macroalgae *Enteromorpha sp.*. *research on Chemical Intermediates*, 42(2): 1275-1294.
- Romero-Gonzalez J, Peralta-Videa JR, Rodriguez E, Ramirez SL, Gardea-Torresdey JL, 2005. Determination of thermodynamic parameters of Cr(VI) adsorption from aqueous solution onto *Agave lechuguilla* biomass. *The Journal of Chemical Thermodynamics*, 37 (4): 343-347.
- Sanchez C, 2009. Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and other edible mushrooms. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(5): 1321-1337.
- Sanghi R, Sankaramakrishnan N, Dave, BC, 2009. Fungal bioremediation of chromates: conformational changes of biomass during sequestration, binding, and reduction of hexavalent chromium ions. *Journal of Hazardous Materials*, 169: 1074-1080.
- Semerjian L, 2018. Removal of heavy metals (Cu, Pb) from aqueous solutions using pine (*Pinus halepensis*) sawdust: equilibrium, kinetic, and thermodynamic studies. *Environmental Technology&Innovation*, 12: 91-103.
- Sethy TR ve Sahoo PK, 2019. Highly toxic Cr(VI) adsorption by (chitosan-g-PMMA)/silica bionanocomposite prepared via emulsifier-free emulsion polymerisation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 122: 1184-1190.

- Shafey EI, 2005. Behaviour of reduction-sorption of chromium(VI) from an aqueous solution on a modified sorbent from rice husk. *Water, Air, & Soil Pollution*, 163: 81-102.
- Sivakumar D, Shankar D, Kandaswamy AN, Ammaippan M, 2014. Role of electro-dialysis and electro-dialysis cum adsorption for chromium(VI) reduction. *Pollution Research*, 33 (3): 547-552.
- Srivastava S, Agrawal SB, Mondal MK. 2015. Biosorption isotherms and kinetics on removal of Cr(VI) using native and chemically modified *Lagerstroemia speciosa* bark. *Ecological Engineering*, 85: 56-66.
- Sugashini S ve Begum KMMS, 2013. Column adsorption studies for the removal of Cr(VI) ions by ethylamine modified chitosan carbonized rice husk composite beads with modelling and optimization. *Journal of Chemistry*, 2013: 1-11.
- Tekerlekopoulou AG, Tsiflikiotou M, Akritidou L, Viennas A, Tsiamis G, Pavlou S, Bourtzis K, Vayenas DV, 2013. Modelling of biological Cr(VI) removal in draw-fill reactors using microorganisms in suspended and attached growth systems. *Water Research*, 47: 623-639.
- Wang PC, Mori T, Komori K, Sasatsu M, Toda H, Ohtake H, 1989. Isolation and characterization of an *Enterobacter cloacae* strain that reduces hexavalent chromium under anaerobic conditions. *Applied and Environmental Microbiology*, 55: 1665-1669.
- Xie B, Shan C, Xu Z, Li X, Zhang X, Chen J, Pan B, 2017. One-step removal of Cr(VI) at alkaline pH by UV/sulfite process: Reduction to Cr(III) and in situ Cr(III) precipitation. *Chemical Engineering Journal*, 308: 791-797.
- Xu X, Zhang Z, Huang Q, Chen W, 2018. Biosorption performance of multimetal resistant fungus *Penicillium chrysogenum* XJ-1 for removal of Cu<sup>2+</sup> and Cr<sup>6+</sup> from aqueous solutions. *Geomicrobiology Journal*, 35 (1):
- Yacou C, Altendor S, Carene B, Gaspard S, 2018. Chemical structure investigation of tropical *Turbinaria turbinata* seaweeds and its derived carbon sorbents applied for the removal of hexavalent chromium in water. *Algal Research*, 34: 25-36.
- Zhou J, Wang Y, Wang J, Qiao W, Long D, Ling L, 2016. Effective removal of hexavalent chromium from aqueous solutions by adsorption on mesoporous carbon microspheres. *Journal of Colloid and Interface Science*, 462: 200-207.



# Hoyran Havzasının Yeraltısuyu Akım Modellemesi ile Su Bütçesinin Belirlenmesi

İbrahim İskender Soyaslan<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Burdur, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5282-8094)

(İlk Geliş Tarihi 27 Kasım 2019 ve Kabul Tarihi 31 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.656606)

**ATIF/REFERENCE:** Soyaslan, İ., İ., (2019). Hoyran Havzasının Yeraltısuyu Akım Modellemesi ile Su Bütçesinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1184-1197.

## Öz

Türkiye'nin ikinci büyük tatlı su rezervuarı olan Eğirdir Gölü'nden; sulama, içmesuyu temini, turizm ve su ürünleri üretimi gibi pekçok farklı amaçla yararlanılmaktadır. Eğirdir Gölü'nün, su kalitesinin korunarak optimum su kullanım modelinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla; göl su toplama havzasının hidrojeolojik özelliklerinin ve göl ile komşu havzalar arasındaki hidrojeolojik ilişkinin belirlenmesi gerekmektedir. Yağışlara bağlı olarak değişmekle birlikte Eğirdir Gölü'nün yüzey alanı 470 km<sup>2</sup> ve depolama hacmi 4 milyar m<sup>3</sup>'tür. Yeraltısuyu akım modellemesi yapılan Hoyran (Kumdanlı) Havzası, Göller Bölgesinde bulunan Eğirdir Gölü su toplama havzası içerisinde yer almaktadır. Hoyran havzasında evsel kirlenici kaynaklardan kolayca kirlenen yüzey ve yeraltısuları göle boşalmaktadır. Kirlenmiş suların göle etkisini tartışabilmek için, Eğirdir Gölü'nü besleyen havzalardan göle akış karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla yeraltısuyu akım modellemesinin yapılması önemlidir. Hoyran Havzası'nda bulunan kirlilik unsurları tarım, hayvancılık ve kanalizasyon deşarjları sonucunda oluşmaktadır. Çalışma alanı Isparta Açısı olarak adlandırılan tektonik olarak aktif bir bölgede bulunduğundan dolayı, jeolojik yapı modelleme açısından oldukça karmaşıktır. Stratigrafik dizilimde yeralan dört farklı hidrojeolojik birim de model alanında yüzeylenmekte ve basınçlı-serbest yüzeyli akifer özellikleri göstermektedir. Böyle karmaşık bir hidrojeolojik ortamda modelleme yapmak az rastlanılan, ilginç ve zor bir konudur. Bölgedeki akifer tabakalarının geometrik yapısı, modelleme programı MODFLOW'un yatay tabaka kavramına izin vermemiştir. Bu problemin çözümünde, benzetim boyunca farklı tabakalar arasındaki yatay akış için, aynı seviyede bulunan farklı hidrojeolojik tabakalar farklı hidrojeolojik özellikleri kullanılarak tek bir tabaka olarak modellenmiştir. Yapılan modelleme sonucunda Eğirdir Gölü'ne yeraltısuyu boşalım miktarı yıllık ortalama 32,47 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Bu model, bölgedeki su kaynaklarının yönetimi ve planlaması için bir araç olarak kullanılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Hoyran Havzası, Yeraltısuyu akım modeli, Modflow, Su bütçesi, Eğirdir Gölü

## Determination of Water Budget by Groundwater Flow Modeling of Hoyran Basin

### Abstract

Turkey's second largest freshwater reservoir Lake Eğirdir; is utilized for many kind of purposes such as irrigation, drinking water supply, tourism and aquaculture production. Determining the optimum water usage model by maintaining the water quality of Lake Eğirdir is of great importance. For this purpose; the hydrogeological characteristics of water collection basin of the lake and the hydrogeological relationship between the lake and neighboring basins need to be determined. Depending on the rainfall changes, the surface area of Lake Eğirdir is 470 km<sup>2</sup> and the storage volume is 4 billion m<sup>3</sup>. Hoyran (Kumdanlı) Basin, for which groundwater flow modeling made, is located within the Eğirdir Lake water collection basin in the Lakes Region. In the Hoyran basin; surface and groundwater that are easily contaminated from domestic pollutant sources, discharge into the lake. In order to discuss the effects of polluted waters to the lake; it is important to make groundwater flow modeling to determine the flow characteristics from the

\* Sorumlu Yazar: Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Burdur, Türkiye, ORCID: 0000-0001-5282-8094, [isoyaslan@mehmetakif.edu.tr](mailto:isoyaslan@mehmetakif.edu.tr)



watersheds feeding the Lake Eğirdir. Pollution elements in Hoyran Basin are formed as a result of agriculture, livestock and sewage discharges. As the study area is located in a tectonically active region called Isparta Angle, the geological structure is quite complex in terms of modeling. Four different hydrogeological units in the stratigraphic sequence are outcropped in the model area and show pressure-free surface aquifer characteristics. Modeling in such a complex hydrogeological environment is a rare, interesting and difficult issue. The geometric structure of the aquifer layers in the region did not allow the model program MODFLOW's horizontal layer concept. In the solution of this problem, for the horizontal flow between the different layers during the simulation, different hydrogeological layers at the same level are modeled as a single layer using different hydrogeological properties. As a result of the modeling, the groundwater discharge to Lake Eğirdir was determined as  $32.47 \times 10^6 \text{ m}^3$  per year. This model can be used as a tool for the management and planning of water resources in the region.

**Keywords:** Hoyran Basin, Groundwater flow model, Modflow, Water budget, Lake Eğirdir.

## 1. Giriş

Göl, baraj ve akarsular olarak tanımlanan yüzey suları ile yeraltısuyunun etkileşimi, yeraltısuyu akım modellemesi ve bütçe hesaplamalarının yapılması için duyarlılık analizleri ve matematiksel modelleme çalışmaları son yıllarda giderek artmaktadır. Özellikle bilgisayar yazılım ve teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte hidrolik ve hidrojeolojik çalışmaların büyük bölümünde MODFLOW programı ve modülleri kullanılmaktadır (Boyras, 2011; Lulu ve ark., 2005; Guzman ve ark.,2015). MODFLOW yazılımı atıksuların çevresel etkileri (Hussien ve ark.,2017), yeraltısuyu akışındaki zamansal değişimlerin belirlenmesi (Berehanu ve ark., 2017), kararlı şartlarda yeraltısuyu simülasyonu (Gebrekirstos, 2009), yeraltısuyu ile akarsu arasındaki etkileşim (Abbas ve ark., 2018;Yitbarek, 2009; Birhanu, 2012), maden atık sularının akış simülasyonu (Guorui ve ark., 2019) ve yeraltısularında kirlilik taşınımı (Tsfaye, 2009) gibi spesifik konularda kullanılmaktadır. Bu çalışmada PMWIN ve MODFLOW yazılımları birlikte Eğirdir Gölü kuzeydoğusunda yer alan Hoyran Havzası'nın yeraltısuyu akım modellemesi için kullanılmıştır.

Türkiye'nin dördüncü büyük doğal tatlı su gölü olan Eğirdir Gölü'nden; bölgede sulama, içme suyu sağlanması, su ürünleri üretimi ve turizm vb. farklı amaçlar için yararlanılmaktadır. Bölge için büyük önem taşıyan Eğirdir Gölü havzasının hidrojeolojik özelliklerinin belirlenmesi, göl ile havza ilişkisinin ortaya konması, göl su rezervinin optimum kullanımı ve su kalitesinin kontrolü açısından önemlidir. Eğirdir Gölü havzasının kuzey batısında yer alan Hoyran (Kumdanlı) havzasındaki evsel atık sularından kaynaklanan olası yüzey ve yeraltısuyu kirliliğinin Eğirdir Gölü'ne etkilerinin belirlenmesi ve Eğirdir Gölü su kalitesinin uzun zaman periyodunda korunması açısından yapılacak yeraltısuyu akım modellemesi büyük önem taşımaktadır.

Çalışma alanındaki hidrolojik ve hidrojeolojik verilerin, arazi çalışmalarında doğrudan arazi veri kayıt sistemine aktarılmasıyla oluşturulmuş olan veri tabanının, yeraltısuyu akım modellemesinde kullanılarak modelin hassasiyeti ve doğruluğu artırılmıştır.

Hoyran (Kumdanlı) havzasında yapılmış önceki yeraltısuyu bütçe çalışmalarında (Topçam ve ark., 1977; Soyaslan , 2004), hidrolojik su bütçesi yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle elde edilen sonuçların kullanılabilirlikleri tartışılarak ve ortaya çıkabilecek eksiklikler üzerinde durulmuştur. Hidrolojik su bütçesi hesaplama yöntemlerine göre çok daha hassas olan yeraltısuyu akım modellemesi sonucunda elde edilen veriler ile önceki çalışmaların sonuçlarının karşılaştırılması amaçlanmaktadır.

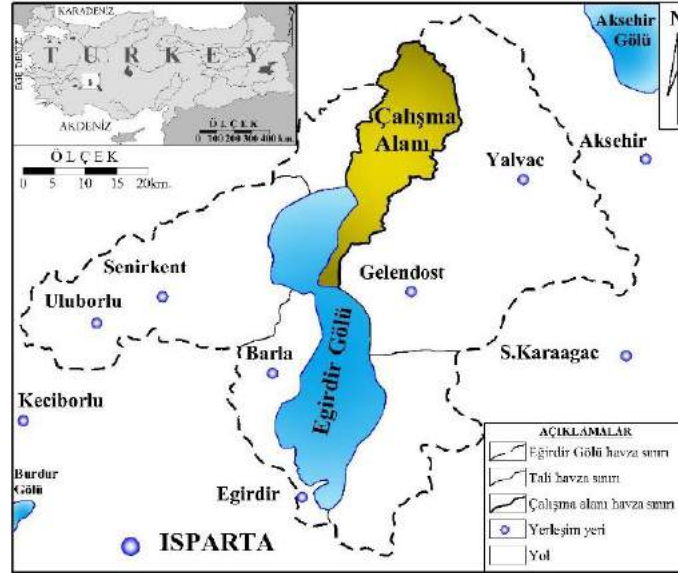
## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Bu bölümde, çalışma alanı konumunun genel bir tanıtımı, morfolojik özellikleri, hâkim iklim ve bitki örtüsü hakkında genel tanıtıcı bilgiler ortaya konulmuştur.

#### 2.1.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı, Eğirdir Gölü'ne boşalan Hoyran Deresi su toplama havzasını kapsamaktadır. Havza, Göller bölgesinde Eğirdir Gölü su toplama havzası içerisinde ve gölün kuzey doğusunda yer almaktadır (Şekil 1). Isparta iline yaklaşık olarak 80 km uzaklıktaki çalışma alanında, Kumdanlı, Mısırlı, Sağır, Körküler, Gökçeali, Aşağı Tırtar ve Yukarı Tırtar yerleşimleri bulunmaktadır. Çalışma sahası yaklaşık olarak 311 km<sup>2</sup> bir alan kapsamakta ve 1/100.000 ölçekli topoğrafik haritada Afyon L25 ve L26 paftaları içinde kalmaktadır. Yerleşim merkezleri çoğunlukla Pliyosen, Miyosen, Kuvaterner yaşlı çökellerin oluşturduğu tarım alanları üzerinde yer almaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanının yerbulduru haritası

### 2.1.2. Jeomorfoloji

Çalışma alanı içerisinde yaşlı birimler yükselteleri, genç birimler alçak ve penepen topografyayı oluşturmaktadırlar. Doğuda Sultandağları yükseltisi, güneyde Anamasdağ yükseltisi horst yapıları olarak karşımıza çıkmaktadır. Egeirir Gölü ile batıya doğru Kumdanlı havzasını kapsayan çukurluk alan ise grabeni oluşturmaktadır. Özellikle Sultandağ metamofikleri ve çalışma alanı dışında güneyde yer alan Anamasdağ karbonatları ile Neojen çökeller arasında olan dokanaklar boyunca tektonizmanın da etkili olduğu oldukça sarp ve keskin bir topografya gözlenmektedir.

Bölgede yer alan önemli yerleşim merkezi olarak Yalvac ilçesine bağlı köy ve belediyeler yer almaktadır. Bunlar; Kumdanlı, Körküler, Mısırlı, Sağır, Gökçeali, Yukarıtirtar ve Aşağıtirtar'dır. Yerleşim merkezleri çoğunlukla Pliosen, Miyosen, Kuvaterner yaşlı çökellerin oluşturduğu tarım alanları üzerinde yer almaktadır.

### 2.1.3. İklim ve Bitki Örtüsü

Akdeniz Bölgesi içinde yer alan çalışma alanı, iklim özellikleri bakımından Akdeniz ve İç Anadolu arasında geçiş tipini karakterize etmektedir. Yani bazı iklim özellikleri ile Akdeniz iklimine, bazı özellikleriyle de İç Anadolu iklimine benzerlik göstermektedir. Yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlıdır. Sonbahar ve ilkbaharda zaman zaman yağış alabilen bölge, kış aylarında da yağışlı dönemler geçirebilmektedir. Bu genel tanımlama içinde saha, Doğu Akdeniz provensinin güney kısmı ile Doğu Anadolu yarı çöl kuşağı arasındaki geçiş bölgesinde kalır. Bu geçiş bölgesinde yer alan çalışma alanı, iklim ve bitki örtüsü açısından karmaşık bir yapı arz eder (Ünal, 1990).

Çalışma alanı bitki örtüsü bakımından genelde fakirdir. Ovalar ve düşük kotlu topografyanın yaygın olduğu kesimler genellikle tarım arazileri olduğu için bu kesimlerde buğday, arpa, yulaf gibi tahıl ürünleri, şeker pancarı, haşhaş, ayçiçeği gibi tarla ürünleri, sebze, meyve ağaçlarından oluşan otsu ve odunsu flora gözlenmektedir.

## 2.2. Yöntemler

Yeraltısuyu akım modellemesinin başarısı, başlangıç aşamasında geliştirilmesi gereken kavramsal modelin doğru bir şekilde kurulmasına bağlıdır. Kavramsal modelin doğruluk ve hassaslığı ise çalışma alanının stratigrafik, hidrolojik, hidrojeolojik, morfolojik ve topoğrafik yapısının doğru bir şekilde ortaya konmasına bağlıdır. Bu bölümde kavramsal modelin temelini oluşturan bu özellikler detaylı olarak açıklanmıştır.

### 2.2.1. Stratigrafi ve Petrografi

Çalışma alanının stratigrafik ve yapısal özelliklerinin ortaya konulması amacıyla jeoloji haritasının hazırlanması kaya birimi ayırtılmasına dayandırılmıştır. Birimlerin özgül niteliklerinin tanımlanması ve çökeltme ortamlarının belirlenmesi amacıyla önceki çalışmalar ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu veriler arazi çalışmaları ile desteklenmiş ve bu aşamada arazi veri kayıt sistemi kullanılarak, birimler stratigrafik ve petrografik özelliklerine göre ayırt edilerek çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti ve 1/25.000 ölçekli detay olarak jeoloji haritası hazırlanmıştır.

### 2.2.2. Hidroloji

Yeraltısuyu bilançosu yapılmasına yönelik olarak havza içerisinde ve çevresinde bulunan toplam sekiz adet Devlet Meteoroloji İstasyonu verilerinden yararlanılmıştır. Çalışma alanına düşen ortalama yağış miktarı, aritmetik ortalama, Thiessen poligon (çokgen) ve eşyağış (izohiyet) eğrileri yöntemleri kullanılarak tespit edilmiştir. Potansiyel ve gerçek buharlaşma değerleri, Thornthwaite, Blaney-Cridle ve Schendel yöntemleri kullanılarak hesaplanmış ve bu yöntemler için deneştirmeli su bilançosu yapılmıştır. Havza

içerisinde kaynak boşalımından ve yağıştan beslenerek Eğirdir Gölü'ne dökülen Hoyran deresinin ortalama yıllık akım miktarları DSİ'den alınarak, çalışma alanından Eğirdir Gölü'ne yıllık ortalama boşalım miktarı belirlenmiştir.

### 2.2.3. Hidrojeoloji

Başlangıçta çalışma alanı sınırlarının belirlenmesi amacıyla 1/100.000 ölçekli topoğrafik haritalardan taslak olarak çizilen havzanın su bölüm hattı, 1/25.000 topoğrafik haritalar kullanılarak kontrolleri yapılarak düzeltme ve detaylandırma çalışmaları ile doğruluk ve hassaslığı artırılmıştır. Bu çalışmalar sırasından arazide topoğrafik olarak ulaşılabilen su bölüm hattı noktaları gps kullanılarak koordinatları belirlenmiştir. Çalışma alanındaki drenaj ağları 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalar kullanılarak ayrıntılı olarak çalışılması sonucunda çalışma alanının drenaj ağı haritası hazırlanmış olup, özellikle yeraltısu akım modellemesine yönelik olarak hoyran deresi akış güzergâhı üzerinde odaklanılarak çalışılmıştır.

Çalışma alanındaki jeolojik birimlerin hidrojeolojik özelliklerine göre akiferler tanımlanmıştır. Akifer karakteristiklerinin (K, T, S) hesaplanması, akiferlerdeki su potansiyelinin doğru işletilmesi, havzada ve eğirdir gölü su kalitesinin uzun dönemde korunmasının tartışılması amacıyla önem taşımaktadır. DSİ ve Köy Hizmetlerinin kuyularına ait pompaj deney sonuçları kullanılarak, Aquifer Test Pro 3.7 bilgisayar programında gözenekli akifer için Cooper-Jacob, Thies, Neuman yöntemleri, karstik akifer için Moench yöntemi ile akifer karakteristikleri hesaplanmıştır. Tüm bu çalışmalar sonucunda çalışma alanı, yeraltısu işletmesine uygunluk açısından hidrojeolojik özelliklerine göre değerlendirilerek bölgelere ayrılmış ve tüm bu veriler yeraltısu akım modellemesinde kullanılmıştır.

### 2.2.4. Yeraltısu Akım Modellemesi

Üç boyutlu sonlu farklar yeraltısu akım modeli olan MODFLOW-88 McDonald ve Harbaugh (1988) veya MODFLOW-96 Harbaugh ve McDonald (1996) tarafından geliştirilmiş ve şu anda en çok kullanılan ve güvenilir yeraltısu akım modellerinden biridir. Advaktif taşınım modeli PMPATH (Chiang 1994; Chiang ve Kinzelbach, 1993; Chiang vd., 1998), madde taşınım modeli MT3D (Zheng, 1990), MT3DMS (Zheng and Wang, 1998) ve parametre tahmin programları PEST (Doherty et al., 1994) ve UCODE (Poeter & Hill, 1988) bu yaklaşımda kullanılmış olan MODFLOW tabanlı modellerdir.

Hoyran (Kumdanlı) havzasında yeraltısu akışının ve potansiyelinin belirlenmesi amacıyla Processing Modflow for Windows (PMWIN) 5.0 yazılım programı kullanılarak yeraltısu akış modellemesi yapılmıştır. PMWIN programında akifer sisteminin sınır koşulları modeli güney batısında Eğirdir Gölü sabit seviyeli hidrolik yük ve diğer yerlerin tamamı ise akım olmayan sınır koşulları olarak modellenmiştir.

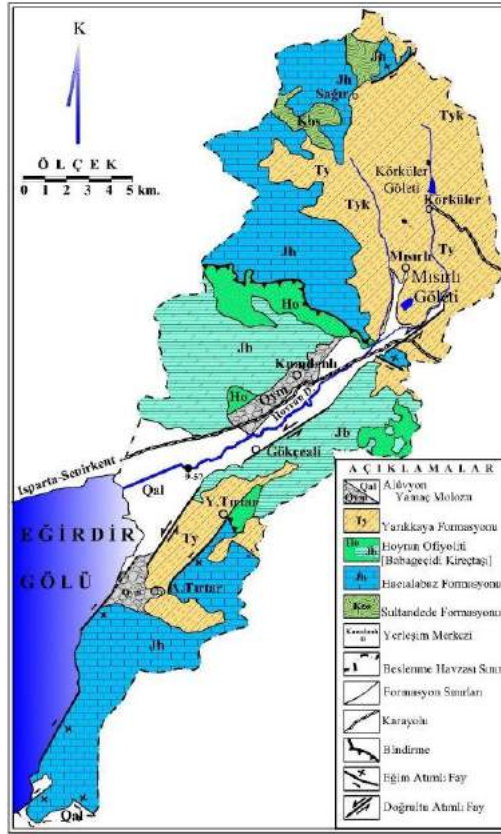
Kavramsal modelin oluşturulması aşamasında modeli oluşturan dört farklı tabaka ve bu tabakalara ait alt ve üst seviye kotları tanımlanmıştır. Jeolojik ve hidrojeolojik yapıya bağlı olarak sınır koşulları ve hidrojeolojik parametreler belirlendikten sonra, PMWIN programında değişken büyüklükte grid ağları oluşturularak her akifer tabakası 17 x 25 olmak üzere 425 hücreye bölünmüştür. MODFLOW için gerekli en önemli girdi olan yeraltısu beslenme miktarı ve gözlem kuyularındaki ölçümler, kaynaklardaki debi ölçümleri ve yeraltısu kullanım miktarları için yeraltısu seviye ölçümleriyle modelin kalibrasyonu yapılmıştır.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Stratigrafi ve Petrografi

Arazi çalışmaları ile literatür taraması sonucu belirlenen çalışma alanının genel jeoloji haritası, yeraltısu akım modellemesine yönelik olarak revize edilmiştir. Özellikle çalışma alanında bulunan jeolojik birimlere ait dokanak sınırları arazi veri kayıt sistemi kullanılarak gps ile ayrıntılı olarak belirlenmiştir. Oluşturulan yeraltısu akım modellemesinin doğruluğu ve güvenilirliği, doğal jeolojik ortamı en iyi temsil eden verilerin sağlanması ile mümkün olmaktadır. Bu yüzden yeraltısu akım modellemesi yapılırken doğal sistemi en iyi şekilde belirlemek amacıyla arazide yapılan tüm ölçümler anında bilgisayara aktarılmıştır. Formasyon sınırları, faylar ve süreksizlik düzlemleri ayrıntılı olarak belirlenmiştir. Literatür bilgileri ile arazi çalışmaları arasında uyumsuzluğun meydana geldiği noktalar üzerinde yoğunlaşarak bu uyumsuzlukların ortadan kaldırılması sağlanarak tamamlanan çalışma alanının 1/100.000 ölçekli genel jeoloji haritası revize edilmiştir (Şekil 2).

Çalışma alanında jeolojik birimler, otokton ve allokton olmak üzere iki gruba ayrılmışlardır. Otokton birimler, alttan üste doğru Sultandede Formasyonu, Hacılabaz Kireçtaşı, Yalvaç Neojen havzasını oluşturan tortullardan Yarıkkaya Formasyonu ve tüm birimlerin üzerine uyumsuz olarak gelen Alüvyon ve Yamaç Molozu'ndan oluşmaktadır. Allokton birim olarak Hoyran Ofiyoliti yer almaktadır. Sultandede Formasyonu, Ordovisiyen yaşlı düşük dereceli metamorfik kayalardan meydana gelmiştir. Formasyon, kahverengi metakumtaşı, fillit, sleyt, yersel pembe-boz renkli kuvarsit, metakuvarsit, kalsitler ile metakonglomera ve iri kristalli, mermer seviyelerinden oluşmaktadır. Mesozoyik, Üst Jura yaşlı Hacılabaz Kireçtaşı ile temsil edilmekte olup, koyu siyah renkli yer yer oolitle kireçtaşı, üste doğru koyu siyah renkli, ince-kalın katmanlı, kalsit damarlı, eklemli oobiyosparit, kristallenmiş biyomikrit, biyosparitten oluşmaktadır. Hoyran Ofiyoliti; serpantin, diyabaz, çört, serpantinleşmiş dunit, peridoditten ve değişik boyutlardaki bloklardan ve olistrostromal kireçtaşından meydana gelmiştir. Yarıkkaya Formasyonu, çakıltaşı, kumtaşı, kiltası, killi kireçtaşı ve kireçtaşından oluşmaktadır. Temel kayalar üzerine uyumsuz olarak örten alüvyon, farklı boyuttaki blok, çakıl, kum, silt, kil ve bunların farklı kombinasyonlarının birikiminden meydana gelmektedir. Yamaç molozları ise, özellikle Beyşehir-Hoyran Napı'na bağlı gelişmiş eteklerinde ve sarp yamaçlarda yayılmış köşeli blok ve çakıl ve kırıntılardan oluşmaktadır (Soyaslan , 2004).



Şekil 2.. Hoyran Havzası jeoloji haritası

### 3.2. Hidrojeoloji

Arazi çalışmaları ile Isparta il özel idaresine bağlanan Köy Hizmetleri ve DSİ tarafından açılmış sondaj kuyularının kotları ve koordinatları tespit edilmiş, diğer akifer parametreleri ilgili kurumlardan alınmıştır (Tablo 1). Kamu kurumları tarafından açılmış derin sondaj kuyularına ilave olarak çalışma alanında bulunan keson kuyuların yeraltısuyu seviye ölçümleri, kuyu ağız kotları ve kuyu koordinatları belirlenmiştir.

Tablo 1. Çalışma alanındaki kamu kurumlarının sondaj kuyularına ait veriler

Sıra No	Kuyu Adı	Lokasyon	Koordinatlar		Pafta No	Rakım (m)	Derinlik (m)	Statik Seviye (m)	Dinamik Seviye (m)	Verim (Qp) lt/sn
			Doğu	Kuzey						
1	KH10	Mısırlı	327725	4248125	L26-a4	1066	44.00	2.60	11.60	5.00
2	KH11	Ayvalı	330950	4253450	L26-a1	1296	62.00	20.00	40.00	3.00
3	4232	Hoyran	316565	4240623	L25-c3	922	158.50	13.65	31.00	2.00
4	4567	Hoyran	320837	4240940	L25-c3	944	500.00	22.40	50.10	0.60
5	25336	Kumdanlı	317830	4241410	L25-c3	932	93.00	KUYU KURU		
3	25337	Kumdanlı	318855	4240930	L25-c3	942	150.00	6.15	9.34	58.47
4	25338	Kumdanlı	319473	4241188	L25-c3	956	60.00	16.10	30.74	40.62
6	25339	Kumdanlı	320451	4241492	L25-c3	950	62.00	34.00	40.00	34.58
7	25340	Kumdanlı	320770	4241540	L25-c3	947	70.00	38.70	39.60	57.97
8	22235	Hoyran	323539	4243696	L25-c3	997	225.00	4.55	13.82	60.62
5	22236	Hoyran	322045	4242520	L25-c3	957	220.00	4.15	30.31	49.26
6	22237	Hoyran	318040	4241130	L25-c3	938	117.00	16.75	21.85	61.06
9	22238	Hoyran	317408	4240805	L25-c3	924	220.00	5.45	27.66	35.32
10	22239	Hoyran	316585	4241712	L25-c3	935	40.00	12.95	17.31	62.32

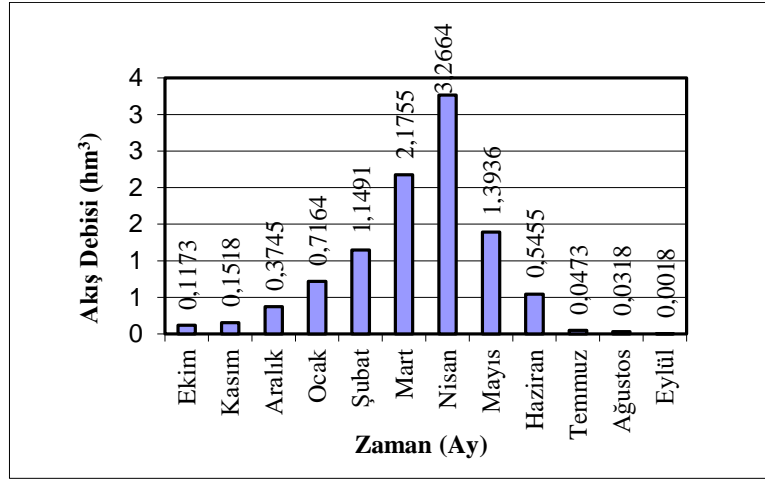
Süreksizlik analizleri sonucunda, çalışma alanındaki egemen süreksizliklerin eğim yönlerinin (GB-KB) Eğirdir Gölü'ne doğru olması ve sahip oldukları yüksek eğim (87-86) derecelerinden dolayı, yüzey suyunun ve yeraltısuyunun çalışma alanından Eğirdir

Gölü'ne doğru olan hareketini kolaylaştırmaktadırlar. Süreksizlik analizine ilave olarak yapılan uzaktan algılama çalışmaları sonucunda karstik akiferden Eğirdir Gölü'ne yeraltısuyu boşalımı olduğu tespit edilmiştir (Şener & Soyaslan, 2006).

Çizgiselliklerin büyük bölümünün çalışma alanındaki tektonizmadan yoğun olarak etkilenmiş olan Hacıalabaz ve Sultandede Formasyonu üzerindeki süreksizlikleri ve drenaj ağlarını temsil etmektedir. Çalışma alanında bulunan süreksizlik düzlemleri, yeraltısuyu hareketi açısından ayrı bir öneme sahiptir. Bu sebepten dolayı, süreksizliklerin istatistiksel değerlendirmesi ve uzaktan algılama çalışmaları, çalışma alanının tabanında yer alması ve karstik akiferi oluşturmasından dolayı sadece Hacıalabaz Formasyonu'nda yapılmıştır (Şener & Soyaslan, 2006).

Çizgiselliklerin büyük bölümünün çalışma alanındaki tektonizmadan yoğun olarak etkilenmiş olan Hacıalabaz ve Sultandede Formasyonu üzerindeki süreksizlikleri ve drenaj ağlarını temsil ettiği belirlenmiştir. Çalışma alanında bulunan süreksizlik düzlemleri, yeraltısuyu hareketi açısından ayrı bir öneme sahiptir.

Senirkent-Yalvaç kara yolunun takiben Gökçeali köyü yol ayrımındaki Hoyran Dere'si üzerinde 30°56"D-38°17"K koordinatlarında ve 950 m kotunda bulunan DSI'ne ait 09-57 nolu Gökçeali akım rasat istasyonu verileri alınarak değerlendirilerek aylık ortalama akım debi grafiği hazırlanmıştır (Şekil 3). Hoyran deresinin 1996-2017 yılları arasındaki ortalama akım debileri, yeraltısuyu akım modellemesinde kullanılmak üzere değerlendirilmiştir.



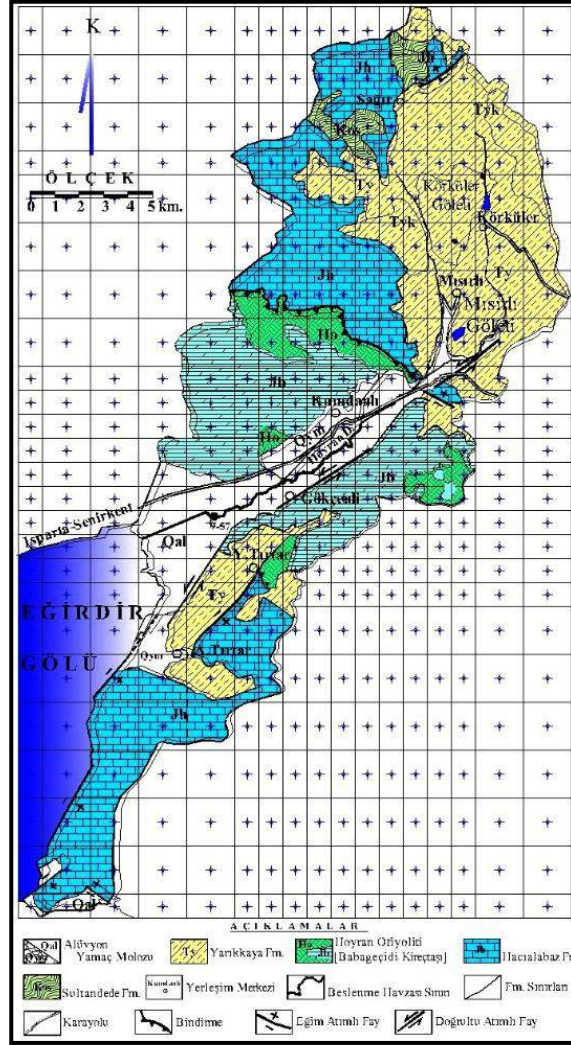
Şekil 3. Hoyran Deresi aylık ortalama akım debileri

### 3.3. Yeraltısuyu Akım Modellemesi

Arazi çalışmaları sonucunda, çalışma alanında yapılacak yeraltısuyu akım modellemesinin temelini teşkil eden kavramsal modelin en önemli ögesi olan grid ağları oluşturulmuştur (Şekil 4). Grid ağlarının oluşturulmasında grid hücrelerinin büyüklükleri ve sıklıkları çalışma alanının genel jeolojisi dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu aşamada oluşturulan hücrelerin içerisinde birden fazla litolojik birimin bulunması durumunda, hücrenin hâkim litolojisinin belirlenmesi büyük bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Oluşturulan hücrenin hakim litolojisinin belirlenmesi amacıyla çalışma alanında GPS kullanılarak sayısal olarak hücre sınırları içerisindeki birimlerin formasyon sınırları ayrıntılı olarak belirlenerek hücrenin hakim litolojisi tespit edilmiştir. Yeraltısuyu akım modellemesinin başarısı kavramsal modelin arazi özelliklerinin gerçeğe en yakın olarak temsil edilmesine bağlı olduğundan dolayı kavramsal model aşamasında karşılaşılabilecek her türlü problemin çözümünde GPS kullanılarak sayısal arazi analizi yapılmıştır.

Simülasyonumuz kararlı akım (steady-state) şartları için kabul edilerek yapıldığından dolayı, zamanla ilgili parametreler, depolama katsayısı ve özgül verim gibi parametrelere ihtiyaç yoktur. Yeraltısuyu akım modellemesinde kullanılan MODFLOW herhangi bir yeraltısuyu sistemini Z yönünde tabakalar halinde modellemektedir. Bu yüzden MODFLOW'da bulunan 4 temel tabaka tipinden çalışma alanımızda bulunan 3 farklı tabaka tipi kullanılarak modellenmiştir.





Şekil 4. Yeraltı suyu akım modellemesi amacıyla oluşturulan çalışma alanının grid ağı

Modflow'da modellemede kullanılan 4 temel tipi şunlardır;

Tip 0; Bu tabaka tipi, tüm simülasyon zamanı için her bir hücrenin transmisibilitesinin sabit kaldığı basınçlı akiferin simülasyonunda kullanılır. Modelimizde Tip 0 tabaka tipi kullanılmamıştır. Çünkü her bir tabaka çalışma alanımızda yüzeylenmektedir.

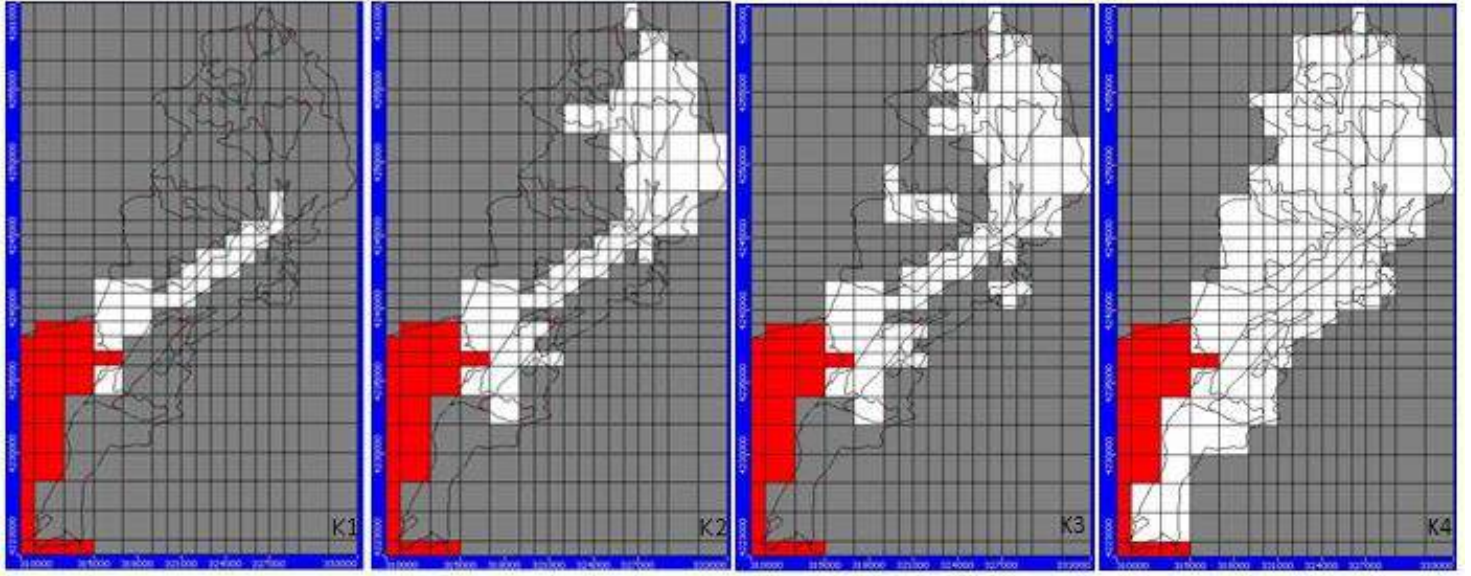
Tip 1; Bu tabaka tipi, sadece en üstteki ilk tabaka için geçerlidir ve serbest yüzeyli akifer için uygulanır. Tabakanın transmisibilitesi, simülasyon boyunca akiferin doymuş kalınlığına bağlı olarak değişim gösterir (Kresic, 1997). Modelimizde serbest akifer olarak modellenen alüvyon (K1) birimi Tip 1 tabaka olarak modellenmiştir.

Tip 2; Bu tip tabaka, serbest yüzeyli ve basınçlı akifer tipinde olan akiferler için kullanılır. Ancak, simülasyon periyodu boyunca sabit olan transmisibilitenin tekrar hesaplanması gerekli değildir, bu yüzden tabaka kalınlığının büyük bir kısmının doymuş olduğu varsayılır. Modelimizde karstik akifer karakterindeki Hacıalabaz Formasyonu ile Babageçidi kireçtaşı (K4) Tip 2 tabaka olarak modellenmiştir.

Tip 3; Bu tip bir tabaka, basınçlı-basınçsız geçişleri içinde kullanılır. Her tekrarlama kullanılan hidrolik iletkenlik ve yeni doymuş kalınlık tarafından tekrar hesaplanan değişen transmisibiliteye sahiptir. Yarıkkaya Formasyonu (K2) ve Sultandede Formasyonu, Hoyran ofiyoliti (K3) Tip 3 tabaka olarak modellenmiştir.

Tabakalar alüvyon (K1) en üstte, onun altında Yarıkkaya Formasyonu (K2) ve Sultandede formasyonu, Hoyran ofiyoliti (K3) en altta ise Hacıalabaz formasyonu ile Babageçidi kireçtaşları (K4) yer almaktadır. Eğer tabaka K4 en üstte bulunuyorsa onun üzerinde bulunması gereken üç tabaka (K1, K2 ve K3) inaktif olarak modellenmiş ve tabaka kalınlıkları önemsenmeyecek kadar küçük (0.01 m) modellenmiştir.

Çalışma alanında yapılan yeraltı suyu akım modellemesinin temelini teşkil eden kavramsal modelin en önemli ögesi olan grid ağları her bir model tabakası için ayrı ayrı oluşturulmuştur (Şekil 5). Bu dönem hazırlanmış olan grid ağları üzerinde çalışma alanında bulunan jeolojik birimler 4 ana model tabakasına ayrılarak her bir model hücresi için bu tabakalara ait alt ve üst seviye kotları girilmiştir. Model tabakaların alt ve üst seviye kotları girilirken mevcut sondaj kuyularına ait sondaj logları ile jeoloji haritası üzerinden alınan kesitlerden yararlanılmıştır.



Şekil 5. Çalışma alanındaki dört model tabakası için (K1-K2-K3-K4) oluşturulan grid ağı

Yatay anizotropi katsayısı 1, dikey anizotropi katsayısı ise parametreler seçenek listesinden dikey hidrolik iletkenlik seçilerek belirlenebilen ve tabaka için kullanılan dikey hidrolik iletkenlik  $V_K$  seçilmiştir (Tablo 2).

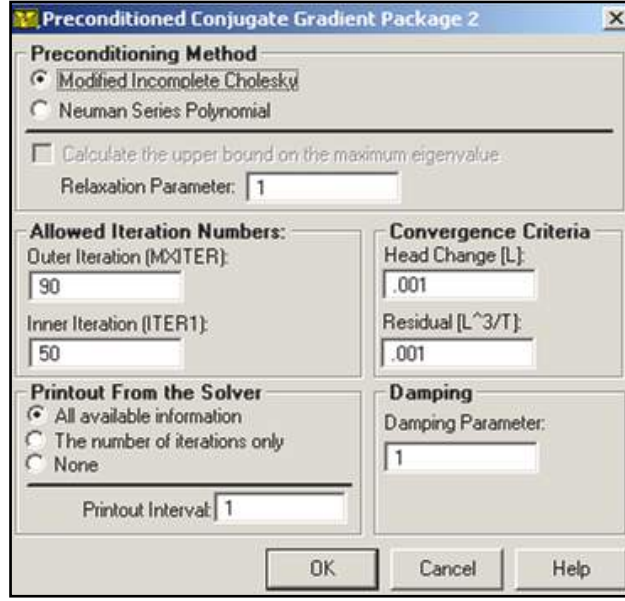
Tablo 2. Başlangıçta kullanılan tabakalara ait hidrojeolojik parametreler

Tabaka Adı	Formasyon Adı	Tabaka Tipi	Yatay Hidrolik İletkenlik (m/gün)	Düsey Hidrolik İletkenlik (m/gün)
K1	Alüvyon/Yamaç Molozu	Tip 1	0,5	0,05
K2	Yarıkkaya Fm.	Tip3	0,05	0,005
K3	Sultandede Fm. ve Hoyran Ofiyoliti	Tip3	0,01	0,001
K4	Hacıalabaz Fm. Ve Babageçidi Kçt.	Tip2	10	55

Yeraltısuyu akım modeli kurulacak akifer sistemi serbest yüzeyli akifer ve basınçlı karstik akifer özelliğindedir. Yüzeyde yer alan alüvyon ve Neojene ait tortullar serbest yüzeyli akifer, temel kayayı oluşturan kireçtaşları ise karstik basınçlı akifer özelliğindedir. Çalışma alanındaki sondaj logları, enine kesitler ve jeofizik çalışmaları dayanarak tabakalara ait tavan ve taban kotları belirlenmiştir. Modellemede kullanılan maksimum taban kotu olarak 600 m olarak alınmıştır.

Yeraltısuyu modellemesi sırasında PMWIN tarafından desteklenen PCG2 çözüm paketi kullanılmıştır. PCG2 çözüm paketi için gerekli olan ve modelde kullanılan parametreler Şekil 6'daki Ön Koşullanma Eşlenik Gradyan Paketi 2 diyalog kutusunda belirtilmiştir. Bu parametreler aşağıda tanımlanmıştır.

İzin Verilmiş İterasyon Sayısı: MXITER, dıştaki iterasyonların maksimum sayısıdır. Lineer bir problem için, MXITER 50 iç iterasyondan daha fazlasına ihtiyaç duyulmadıkça 1 olabilir. Nonlineer problemler için genellikle 1 ile 100 arasında değerler alabilir. Modelimizde iterasyon sayısı 90 alınmıştır. Yakınsama Kriteri: Ardışık iki iterasyon arasındaki maksimum hidrolik seviye değişimi [L], verilen yakınsama kriterinden daha küçük olunca iterasyon durur. Modelimizde yakınsama kriterine 0.01 değeri verilmiştir.



Şekil 6. Koşullanma Eşlenik Gradyan Paketi 2 diyalog kutusu

Simülasyonumuz kararlı akım (steady-state) olduğu için zamanla ilgili parametreler, depolama katsayısı ve özgül verim gibi parametrelere ihtiyaç yoktur.

Çalışma alanı kapalı bir havza özelliği taşımasından dolayı yeraltısuyu beslenmenin temel kaynağı yağıştır. Çalışma alanından boşalım buharlaşma, kaynaklar, Hoyran Deresi ve yaklaşık 4 km'lik kıyı şeridi boyunca yeraltısuyu akımı ile Eğirdir Gölü'ne olmaktadır. Hoyran Dere'sinden Eğirdir Gölü'ne olan akımın mevsimsel olup yaz aylarından kurumasından dolayı model içerisine alınmamış sadece toplam yıllık yağış miktarından çıkarılmıştır. Eğirdir Gölü'ne olan yeraltısuyu akımı ise göl seviyesi ile yeraltısuyu seviyesi arasındaki farka bağlı olarak model tarafından hesaplanmaktadır.

**Yağış (Recharge):** Çalışma alanı ve çevresindeki meteoroloji istasyonu verileri kullanılarak bulunan ortalama yağış miktarlarının çalışma alanını temsil etmediği görülmüştür. Bu sebepten dolayı, yeraltısuyu akım modellemesinde modelin temel beslenimi olan yağış miktarı olarak, Kumdanlı DMİ tarafından ölçülmüş 391.09 mm'lik ortalama yağış kullanılmıştır. Hesaplanmış olan 391.02 mm'lik ortalama yağışın 304.43 mm'lik kısmı buharlaşarak 86.59 mm'lik net yağış değeri elde edilmiştir. Hoyran Deresinden Eğirdir Gölüne olan ortalama akım miktarı  $10.65 \times 10^6 \text{ m}^3$  çıkarılıp, DSİ sulamaları ile Eğirdir Gölü'nden çekilen  $1.1 \times 10^6 \text{ m}^3$  eklendiğinde,  $300 \times 10^6 \text{ m}^2$ 'lik model alanına düşen beslenme miktarı 0.05469 m/yıl olarak bulunmuştur. Model içerisinde ortalama beslenme miktarı 0.00015 m/gün olarak kullanılmıştır. Model alanı içerisindeki toplam beslenme miktarı değişmemek koşuluyla, kalibrasyon sırasında hücrelerin morfolojik ve litolojik özellikleri ile sulama yapılan alanlar göz önüne alınarak hücrelere 0-0.021 m/gün arasında değişen beslenme değerleri verilmiştir. Drenaj ağlarının çok iyi geliştiği yüksek eğimli Hoyran Ofiyoliti ve Sultandede formasyonu üzerindeki (K3) tabakasına ait hücrelerde beslenme değerleri düşürülürken, drenaj ağlarından gelen yüzeysel akımın sebep olduğu beslenme etkisi ovalık alandaki hücrelerde beslenme değerinin artırılması ile sağlanmıştır.

**Kaynak (Drain):** Kaynaklar, MODFLOW'da Drain paketi kullanılarak modellenir ve iki parametre ile tanımlanmaktadır. Birinci parametre kaynağın hidrolik iletkenliği (Cd)  $[L^2/T]$ , kaynak ile akifer arasındaki tüm enerji kayıplarını içine alan bir katsayıdır. İkinci parametre kaynak havuzunun su yüksekliğidir (d) [L]. Her kaynak için bir parametre numarası verilebilir ve bu parametre numarası, ters modellerde otomatik kalibrasyon için Cd yerine parametre atamakta kullanılır.

Kaynağın bulunduğu hücrelerdeki hidrolik seviye, kaynak yüksekliğinden daha büyük olduğu zaman yeraltısuyu kaynağa doğru boşalır ve bu boşalım kaynak suyu olarak modelden dışarı çıkar. Bu durumda kaynak boşalımı varmış gibi modellenir. Hidrolik seviye kaynağın yüksekliğine eşit yada daha düşük olduğu zaman kaynaktaki boşalım sıfır olur. Akiferdeki hidrolik seviyeye dikkate alınmaksızın kaynaktan beslenme daima sıfır olur ve kaynak kurumuş gibi modellenir.

Çalışma alanındaki kaynakların 1977 yılına ait debileri DSİ tarafından belirlenmiştir. 1977 yılındaki yıllık ortalama yağış miktarı, ortalama yağış miktarına orantılanarak modelde kullanılacak kaynak debileri belirlenmiştir. Kaynakların bulunduğu hücrelerdeki hidrolik seviyenin, kaynak yüksekliğinden daha yüksek olmasından dolayı dren boşalımı olmaktadır.

**Kuyular (Well):** Bir pompaj yada enjeksiyon kuyusu, MODFLOW'un Well paketi ile iki parametreyle tanımlanmaktadır. Bu değerler kuyudan su çekilme ve enjeksiyon oranı (Q)  $[L^3/T]$  ve parametre numarasıdır. Kuyunun su çekilme oranı negatif, enjeksiyon oranı pozitif değerler ile belirlenir. Parametre numarası, ters modellerde otomatik kalibrasyon için Q yerine parametre atamakta kullanılmaktadır.

Kararlı akım simülasyonunda bir kuyunun enjeksiyon yada pompaj oranı simülasyon boyunca sabittir ve hücredeki hidrolik seviye ile hücre alanına bağlıdır. MODFLOW, hücrenin tüm kalınlığının kuyu tarafından kesildiğini dolaylı olarak kabul eder. MODFLOW bir model tabakasından daha fazlasını kesen kuyuların benzetimini yapabilir. Bu durumda her bir tabaka için enjeksiyon



ve pompaj oranı belirtilebilir. Çok tabakayı kesen kuyular için enjeksiyon ve pompaj oranı toplamı, her bir tabakadan yapılan pompaj değerlerinin toplamına eşittir olarak modele girilmiştir.

Çalışma alanındaki üretim kuyularından DSİ ile Köy Hizmetlerine ait sondaj kuyuları değerlendirilmiştir. İlgili kurumların kendi kuyularının ve özel kuyuların tahmini üretim miktarları belirlenmiştir. Bu verilere ilave olarak arazi çalışmaları sırasında ruhsatı bulunmayan çok sayıda üretim kuyusunun bulunduğu gözlenmiştir. Üretim miktarları belirlenirken, tarım alanlarının dağılımı ve tarım alanlarındaki su açıkları dikkate alınarak ruhsatsız kuyuların üretim miktarları tahmin edilmiştir. Bu tahmini üretim miktarları diğer kuyular üzerine eklenerek, modellemede kullanılan üretim kuyularının çalışma alanının genelini temsil etmesi sağlanmıştır. Bazı üretim kuyularının farklı tabakaları kestiği durumlarda sondaj logları dikkate alınarak toplam üretim miktarı kesilen tabakalar arasında oransal olarak paylaştırılmıştır.

Seviye Gözlem Kuyuları (Head Observation): Gözlem kuyularının isimleri, koordinatları (doğu [x], kuzey [y]), kesilen tabaka oranları ve yeraltısuyu seviyeleri girilmiştir. Yeraltısuyu seviyeleri kullanılarak hesaplanan hidrolik seviyeler, gözlenen değerlere en uygun hale gelinceye kadar kalibrasyon yapılmıştır.

### 3.3.1. Yeraltısuyu Akım Modelinin Kalibrasyonu

Çalışma alanında alüvyon ve Neojene ait tortullardan oluşan serbest akifer ve temel kayayı oluşturan karstik kireçtaşı akiferi bulunmaktadır. DSİ ve Köy Hizmetlerine ait pompaj verileri bulunan sondaj kuyularının büyük bölümü gözenekli serbest akiferi temsil etmekte çok az bir kısmı ise her iki akiferi birden temsil etmektedir. Kalibrasyonda kullandığımız gözlem kuyularındaki yeraltısuyu seviyelerine dayanarak, yeraltısuyu akım modelinin kalibrasyonu serbest akifer için daha hassas yapılmıştır.

Model içerisinde kullanılmadan kalibrasyon çalışmalarında modelin tutarlılığını kontrol eden tek parametre arazide ölçülmüş yeraltısuyu statik seviyeleridir. Bu sebeple kalibrasyonda kullanılacak gözlem kuyularının bölgedeki yeraltısuyu seviyelerini temsil etmesi, kalibrasyon ve modelin başarısı açısından son derece önemlidir. Birbirine çok yakın bulunan gözlem kuyularından, bölgenin hidrojeolojik yapısına uygun değerlere sahip olmadığı için bölgeyi temsil etmediği veya hatalı ölçüm yapıldığı düşünülen üç adet kuyu kalibrasyona dâhil edilmemiştir.

Yeraltısuyu akımının çalışma alanından Eğirdir Gölü'ne doğru olması sebebiyle uzun zaman periyodunda hidrolik yük eğiminin etkisi ile yeraltısuyu akımı kendine giderek genişleyen bir yol bulmaktadır. Bu sebepten dolayı model alanından Eğirdir Gölü sahil şeridinde doğru yatay iletkenlik değeri giderek artmaktadır. Hoyran ovalarındaki özellikle Kumdanlı güneybatısındaki yüksek debili yeraltısuyu üretimi bunun bir göstergesidir.

Kalibrasyon çalışmalarında kuyuların bulunduğu hücrelerde gözlenen yeraltısuyu seviyeleri ile model tarafından hesaplanan yeraltısuyu seviye değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Gözlenen ve hesaplanan yeraltısuyu seviyeleri arasındaki yaklaşımları sağlayabilmek için kalibrasyon parametresi olarak yatay ve düşey hidrolik iletkenlik değerleri kullanılmıştır (Tablo 3.).

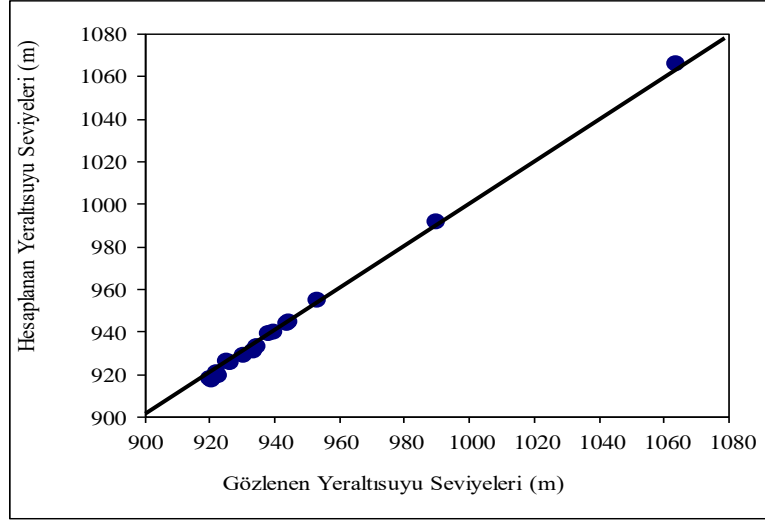
Tablo 3. Kalibrasyon sonucu elde edilen yatay ve düşey hidrolik iletkenlikler

Tabaka Adı	Formasyon Adı	Tabaka Tipi	Yatay Hidrolik İletkenlik (m/gün)	Düşey Hidrolik İletkenlik (m/gün)
K1	Alüvyon/Yamaç Molozu	Tip 1	0,07-7	0,000013-2
K2	Yarıkkaya Fm.	Tip3	0,0001-1,5	0,0001-0,2
K3	Sultandede Fm ve Hoyran Ofiyoliti	Tip3	0,00-0,15	0,0001-0,001
K4	Hacılabaz Fm. ve Babageçidi Kçt.	Tip2	1-38	5

Gözlenen ve hesaplanan değerler arasındaki fark en aza indirildiğinde kalibrasyon işlemi tamamlanmıştır. Gözlem kuyularının büyük bölümün çalışma alanının batı-güneybatısında toplanması, kuzey ve doğuda hesaplanan yeraltısuyu seviyelerinin kontrolünün yapılamamasına sebep olmuştur.

PMWIN, gözlem kuyularına ait gözlenen ve model tarafından hesaplanan yeraltısuyu seviye değerlerini karşılaştırarak grafiksel olarak aralarındaki istatistiksel ilişkiyi göstermektedir (Şekil 7.). Kalibrasyonun sonucunda hesaplanan ve gözlenen yeraltısuyu seviyeleri arasındaki ilişkiyi temsil eden grafik üzerindeki noktaların konumlarının, gözlenen ve hesaplanan değerlerin eşit olduğu doğruya yakın olduğu görülmektedir. Hesaplanan ve gözlenen yeraltısuyu seviyeleri 918.55 m ile 1063.4 m değerleri arasında değişmektedir.

Serbest akifer için model tarafından hesaplanan yeraltısuyu seviyeleri ile gözlenen yeraltısuyu seviyeleri arasındaki fark +3.2 m ile -2.8 m arasında değişmektedir. Gözlenen ve hesaplanan hidrolik seviyelere ait standart sapma değeri 1.81 m olarak bulunmuştur.



Şekil 7. Kalibrasyon sonucunda gözlenen ve hesaplanan yeraltısuyu seviyelerinin karşılaştırma grafiği

Hesaplanan ve gözlenen yeraltısuyu seviye değerleri arasındaki fark genellikle gözlem kuyularının az bulunduğu Kuzeydoğu kesimlerinde artış göstermektedir. Model alanının Kuzeydoğusunda yer alan Mısırlı bölgesinde hesaplanan değer büyük olması sonucu fark +3.2 m değerine kadar çıkmaktadır. Çalışma alanının Güneybatıda yer alan Aşağıtirtar kuzeyinde ise yine gözlem değerlerinin büyük olması sonucunda fark -2.8 m değerine kadar çıkmaktadır. Bunun yanında Hoyran (Kumdanlı) ovasında gözlem kuyularının sayılarındaki artışa bağlı olarak fark ideal olan -1.0 m ile +1.0 m değerleri arasında değişmektedir. Buda gösteriyor ki, modelleme ile benzetimin başarısı elde bulunan verilerin sayısı ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Benzetimde ve kalibrasyonda kullanılacak ne kadar çok veri olursa benzetimde o kadar gerçeğe yakın olarak yapılabilmektedir.

Karstik kireçtaşı akiferi için kalibre edilmiş yeraltısuyu seviye haritasında, üç nolu tabakanın altında (K3) kireçtaşı (K4) inaktif olmasından dolayı çalışma alanının batı kesimlerinde yeraltısuyu seviye konturları çizilmemiştir. Bu bölgedeki kireçtaşı kalınlığı minimum (0.01 m) olarak alınmış ve üç nolu tabakaya (K3) ait hidrojeolojik değerler kullanılmıştır.

### 3.3.2. Yeraltısuyu Akım Modellemesiyle Hazırlanan Su Bütçesi

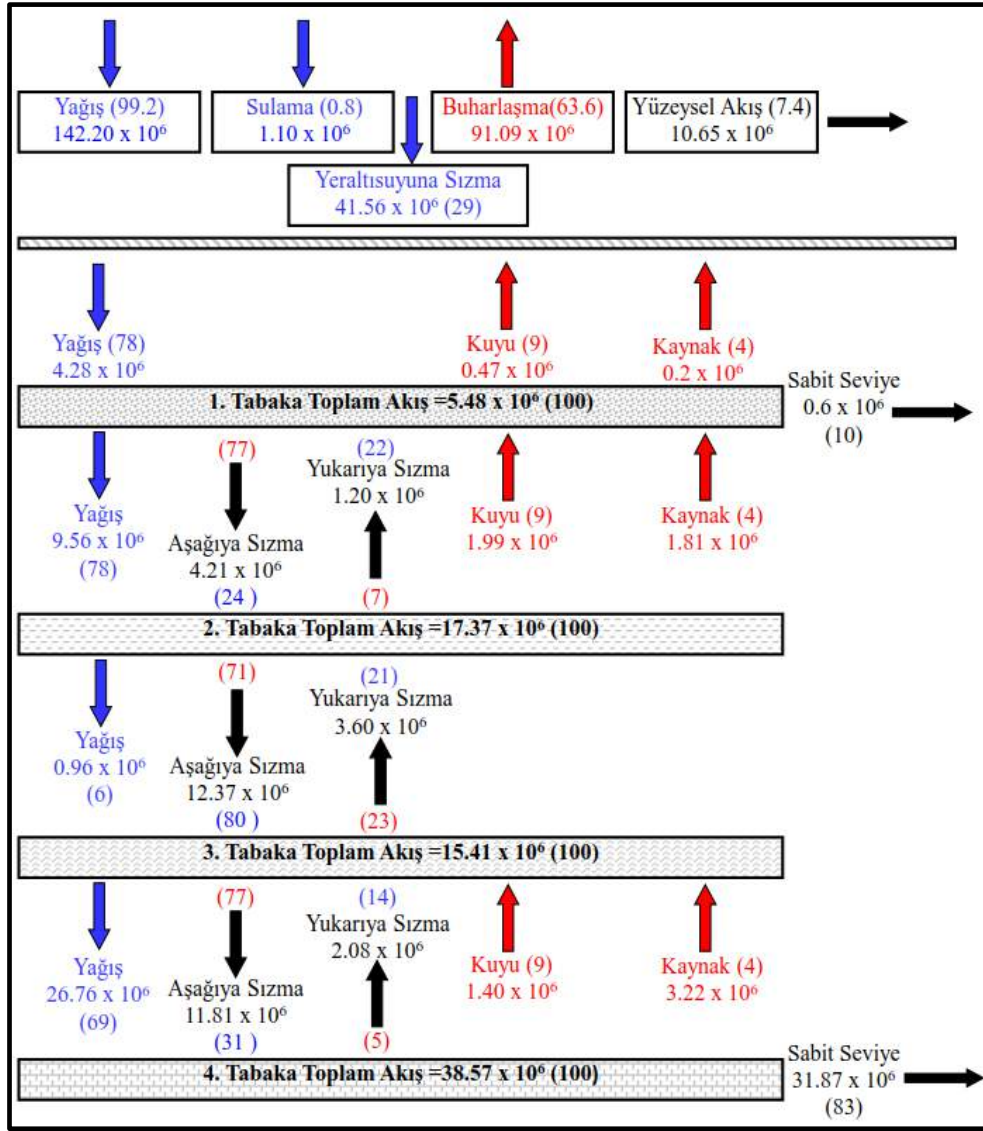
Su bütçesi Hoyran (Kumdanlı) havzasında yeraltısuyu akım modellemesinden yararlanarak hazırlanmıştır. Şekil 8.'de verilen su bütçesinde dört model tabakası için ayrı ayrı beslenme ve boşalım miktarları hem debi ( $m^3/yıl$ ) hem de oran (%) olarak verilmiştir (Motz & Doğan, 2003).

Hoyran havzasında yeraltısuyunun temel beslenme kaynağı yağıştır. Yapılan yeraltısuyu akım modellemesinde  $300 \times 10^6 m^2$  olan model alanındaki beslenimin % 99.2'si yağıştan ( $142.20 \times 10^6 m^3/yıl$ ), % 0.8'ü ise sulama suyundan ( $1.10 \times 10^6 m^3/yıl$ ) olmak üzere toplam  $143.3 \times 10^6 m^3/yıl$ 'dır. Beslenimin % 63.6'sı buharlaşmakta ( $91.09 \times 10^6 m^3/yıl$ ), %7.4'ü yüzeysel akışa geçmekte ( $10.65 \times 10^6 m^3/yıl$ ) ve % 29'u ( $41.56 \times 10^6 m^3/yıl$ ) ise yeraltına süzülerek yeraltısuyunu beslemektedir.

Modelde kullanılan tabakaların hepsinin model alanı içerisinde yüzeye çıkmasından dolayı yeraltısuyu beslenimi her dört tabakada da gerçekleşmiştir. Toplam yeraltısuyu besleniminin ( $41.56 \times 10^6 m^3/yıl$ ), %10.38'i serbest akiferi oluşturan birinci tabakada ( $4.28 \times 10^6 m^3/yıl$ ), % 36.6'ı yarı ve az geçirimli ikinci tabakada ( $9.56 \times 10^6 m^3/yıl$ ), %5.5'i geçirimsiz üçüncü tabakada ( $0.96 \times 10^6 m^3/yıl$ ),%48'lik en büyük bölümü ise karstik kireçtaşı akiferinde ( $26.76 \times 10^6 m^3/yıl$ ) gerçekleşmektedir.

Alüvyondan oluşan serbest akiferde gerçekleşen  $5.48 \times 10^6 m^3/yıl$  toplam akım miktarında beslenimin % 78'si yağıştan ( $4.28 \times 10^6 m^3/yıl$ ), %22'i ikinci tabakadan ( $1.20 \times 10^6 m^3/yıl$ ) yukarıya sızma ile gerçekleşmektedir. Boşalımın miktarının % 4'ü kaynaklardan boşalımı ( $0.2 \times 10^6 m^3/yıl$ ), %9'u kuyulardan çekim ( $0.471.49 \times 10^6 m^3/yıl$ ) %10'u Eğirdir Gölü'ne ( $0.6 \times 10^6 m^3/yıl$ ), ve %77'si ikinci tabakaya ( $4.21 \times 10^6 m^3/yıl$ ) aşağıya sızma ile gerçekleşmektedir.





Şekil 8. Hoyran havzasının yeraltısuyu modellemesi sonunda oluşan su bütçesi

Yarı ve az geçirimli ikinci tabakada gerçekleşen  $17.37 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl toplam akım miktarında beslenme miktarının % 55'si yağıştan ( $9.56 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl), %24'ü birinci tabakadan aşağıya sızma ( $4.21 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl), %21'i ise üçüncü tabakadan ( $3.6 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl) yukarıya sızma ile gerçekleşmektedir. Boşalımın miktarının % 12'si kaynaklardan boşalmı ( $1.99 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl), %10'u kuyulardan çekim ( $1.81 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl), %7'si birinci tabakaya yukarı sızma ile ( $1.20 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl) ve %71'i üçüncü tabakaya ( $12.37 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl) sızmaktadır.

Geçirimsiz olarak modellenen üçüncü tabakada gerçekleşen  $15.41 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl'lık toplam akım miktarında beslenimin % 6'sı yağıştan ( $0.96 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl), %80'i ikinci tabakadan ( $12.37 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl) aşağıya sızmayla, %14'ü ise dördüncü tabakadan yukarıya sızma ( $2.08 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl) ile gerçekleşmektedir. Boşalımın miktarının % 23'ü ise ikinci tabakaya yukarıya sızma ile ( $3.60 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl) ve %77'si dördüncü tabakaya ( $11.81 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl) sızmaktadır. Bu tabaka içerisinde üretim kuyusu ve kaynak bulunmamaktadır. Geçirimsiz olan bu tabakadaki üretim miktarı ise modelleme içerisinde gösterilemeyecek kadar küçük ve karmaşık bir yapıda bulunan ofiyolit içerisindeki olistolit kireçtaşlarındaki kuyulardan kaynaklanmaktadır.

Modelin en altında yer alan karstik kireçtaşlarından oluşan dördüncü tabakada yıllık  $38.57 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl'lık toplam akım miktarında beslenimin % 69'u yağıştan ( $26.76 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl), %31'i üçüncü tabakadan ( $11.81 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl) aşağıya sızmayla gerçekleşmektedir. Boşalımın miktarının % 4'ü kaynaklardan boşalmı ( $1.40 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl), %8'i kuyulardan çekim ( $3.22 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl), %5'i üçüncü tabakaya yukarı sızma ile ( $2.08 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl) ve %83'ü Eğirdir Gölü'ne ( $31.87 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl) boşalmaktadır.

Sonuç olarak çalışma alanından yeraltısuyuna süzülen beslenme miktarı  $41.56 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl'ın %13'ü kuyulardan ( $5.5 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl) çekilmekte, %9'u kaynaklardan ( $3.59 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl) boşalmakta ve %78'i sabit seviye olarak modellenen Eğirdir Gölü'ne ( $32.47 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl) boşalmaktadır. Çalışma alanındaki en büyük toplam akış debisine sahip olan akifer, dördüncü tabaka olarak modellenen karstik kireçtaşı akiferidir.

## 4. Sonuç

Çalışma alanında bulunan jeolojik birimlere ait dokanak sınırları, fay ve süreksizlik düzlemleri arazi veri kayıt sistemi kullanılarak belirlenmiştir. Çalışma alanı sınırlarının belirlenmesi amacıyla 1/100.000 ölçekli topoğrafik haritalardan taslak olarak çizilen havzanın su bölüm hattı, 1/25.000 topoğrafik haritalar kullanılarak kontrolleri yapılarak düzeltme ve detaylandırma çalışmaları ile doğruluk ve hassaslığı artırılmıştır. Özellikle yeraltısuyu akım modellemesine yönelik olarak Hoyran deresi güzergahı üzerinde odaklanılarak çalışılmıştır.

Derin sondaj kuyularına ait sondaj logları temin edilerek, ayrıntılı sondaj logları hazırlanmıştır. Arazi çalışmaları ile Köy Hizmetleri ve DSİ tarafından açılmış sondaj kuyuları ve keson kuyuların koordinatları ve kuyu ağız kotları belirlenmiştir. Akifer karakteristikleri incelendiğinde karstik akifer bölge için önemli bir yeraltısuyu potansiyeline sahiptir. Landsat ETM+ uydu görüntüleri kullanılarak karstik kireçtaşlarında K40-60D ve K30-60B olarak belirlenen hakim çizgisellik doğrultularının arazide ölçülen süreksizlikler ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Hoyran Dere'si üzerinde bulunan DSİ'ne ait akım rasat istasyonu verileri yeraltısuyu akım modellemesinde kullanılmak üzere değerlendirilmiştir. Yeraltısuyu akım modellemesinde kullanılmak üzere çalışma alanındaki yağış, buharlaşma, yüzeysel akış, suni beslenme değerleri belirlenmiştir. Yeraltısuyu akım modellemesinde kullanılmak üzere çalışma alanında bulunan kaynaklar, kuyular ve seviye gözlem kuyuları modele aktararak model çalıştırılmıştır. Bir sonraki dönemde model kalibrasyonu yapılmıştır. Yeraltısuyu akım modellemesi tamamlandıktan sonra her bir model tabakası için ayrıntılı su bütçesi yapılmıştır.

Hoyran havzasında yeraltısuyu akışının ve potansiyelinin belirlenmesi amacıyla PMWIN (Processing Modflow) programı kullanılarak yeraltısuyu akış modellemesi yapılmıştır. Bu amaçla jeolojik ve hidrojeolojik yapıya bağlı olarak sınır koşulları ve hidrojeolojik parametreler belirlendikten sonra, PMWIN programında grid ağları oluşturulmuş, tabaka tipleri ve konumları ile diğer model parametreleri girilmiştir. DSİ tarafından model alanındaki yeraltısuyu seviye ölçümleri kullanılarak modelin kalibrasyonu yapılmış ve modelin hidrolik parametrelere karşı davranışı ve duyarlılığı belirlenmiştir. Yeraltısuyu akım modellemesi sonucunda çalışma alanından yeraltısuyuna süzülen beslenme miktarı  $41.56 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ 'ın %13'ü kuyulardan ( $5.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ ) çekilmekte, %9'u kaynaklardan ( $3.59 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ ) boşalmakta ve %78'i sabit seviye olarak modellenen Eğirdir Gölü'ne ( $32.47 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ ) boşalmaktadır. Çalışma alanındaki en büyük toplam akış debisine sahip olan akifer, dördüncü tabaka olarak modellenen karstik kireçtaşı akiferidir.

Model alanında gelecek yıllarda oluşabilecek farklı hidrojeolojik durumlarda hidrojeolojik yapıyı etkileyen tüm parametreler, bu parametrelerin yapı üzerindeki etkileri ve hidrojeolojik yapının tepkilerinin önceden belirlenebilecektir. Bu parametrelerin önceden belirlenmesi akiferin korunması açısından son derece önemlidir. Modelleme alanı içerisinde yeraltısuyu akımının bu tatlı su rezervuarına boşaldığı göz önüne alınırsa, Eğirdir Gölü'nün tatlı su rezervuarı olarak kirletici etkilerden korunmasına yönelik korunma tedbirlerinin alınması açısından çalışma alanı için taşınım modellemesinin yapılması yararlı olacaktır.

## Kaynakça

- Abbas, S., Xuan, Y., and Bailey, R. (2018). Improving River Flow Simulation Using a Coupled Surface-Groundwater Model for Integrated Water Resources Management. EPiC Series in Engineering, 3,1-9.
- Berehanu, B., Ayenew, T., Azagegn, T. (2017). Challenges of Groundwater Flow Model Calibration Using MODFLOW in Ethiopia; With Particular Emphasis to the Upper Awash River Basin. Journal of Geoscience and Environment Protection, 5, 50-66.
- Birhanu, D. (2012). Numerical Groundwater Flow Modeling of the Meki River Catchment, Central Ethiopia. Unpublished MSc Thesis, Addis Ababa University, Addis Ababa.
- Boyraz, U. (2011). Hidrolojik Modellemede Yüzeysel Suyu-Yeraltı Suyu Etkileşimlerinin Önemi, 5. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, 12-16 Eylül, İstanbul.
- Chiang, W., H., Kinzelbach, W. (1993). Processing Modflow (PM), Pre- and postprocessors for the simulation of flow and contaminants transport in groundwater system with MODFLOW, MODPATH and MT3D.
- Chiang, W.-H., Kinzelbach W., Rausch, R. (1998). Aquifer Simulation Model for Windows -Groundwater flow and transport modeling, an integrated program. Gebrüder Borntraeger Berlin, Stuttgart, ISBN 3-443-01039-3.
- Chiang, W. H. (1994). PMPATH for Windows. User's manual. Scientific Software Group. Washington, DC.
- Doherty, J., Brebber L., Whyte, P. (1994). PEST - Model-independent parameter estimation. User's manual. Watermark Computing. Australia.
- Gebrekirstos, G. (2009). Groundwater Flow Assessment of the Aynalem Well Field through Transient Flow Modeling (Mekelle, Ethiopia). Unpublished MSc Thesis, Addis Ababa University, Ethiopia.
- Guzman, J. A., Moriasi, D. N., Gowda, P. H., Steiner, J. L., Starks, P. J., Arnold, J. G., Srinivasan, R. (2015). A model integration framework for linking SWAT and MODFLOW, Environmental Modelling & Software, 73, 103-116.
- Harbaugh, A., W., McDonald, M. G. (1996a). User's documentation for MODFLOW-96, an update to the U.S. Geological Survey modular finite-difference ground-water flow model, USGS Open-File Report 96-485.
- Harbaugh, A., W., McDonald, M. G., (1996b). Programmer's documentation for MODFLOW-96, an update to the U.S. Geological Survey modular finite-difference ground-water flow model, USGS Open-File Report 96-486.
- Hussien, R., Hagagg, K., El-Aassar, A., M., (2017). Coupling HYDRUS and MODFLOW for studying Environmental Impact of Wastewater Ponds in Tenth of Ramadan City, Egypt. The International Journal of Engineering and Science, 6 (10), 41-54.

- Guorui, W., Qiang, W., Zizhong, Y., Na, Z., Chengbao, D., Xia, C., Hui, W. (2019). Fine Prediction for Mine Water Inflow on Basis of Visual Modflow. *International Journal of Oil, Gas and Coal Engineering*, 7(2), 52-59.
- Kresic, N. (1997). *Quantitative Solutions in Hydrogeology and Groundwater Modeling*, Lewis Publishers, Boca Raton.
- Lulu, S., Hiwot, A., Tsehayu, K. and Waltanigus, S. (2005). *Groundwater Management Using Groundwater Modeling: Case Study on Akaki Well Field; Addis Ababa City, Ethiopia*, International conference Kampala, Uganda.
- McDonald, M. C., Harbaugh, A., W. (1988). MODFLOW, A modular three-dimensional finite difference ground-water flow model, U. S. Geological Survey, Open-file report 83-875, Chapter A1.
- Motz, L.H., Dogan, A., (2003). *North-Central Florida Active Water Table Regional Groundwater Flow Model (Final Report) November, Gainesville/Florida*.
- Poeter E., P., Hill, M., C. (1998). *Documentation of UCODE, a computer code for universal inverse modeling*, U.S. Geological Survey, Water-Resources Investigations Report 98-4080.
- Soyaslan, I. I, (2004). *Eğirdir Gölü doğusunun hidrojeoloji incelemesi ve yeraltısuyu modellemesi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (yayınlanmamış).
- Tesfaye, A. (2009) *Steady State Groundwater Flow and Contaminant Transport Modeling of Akaki Well Field and Its Surrounding Catchment (Addis Ababa, Ethiopia)*. Unpublished MSc Thesis, Addis Ababa University, Addis Ababa.
- Topcam, A., vd., (1977). *Devlet Su işleri Genel Müdürlüğü, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Dairesi Başkanlığı, Hoyran-Gelendost ve Yalvaç Ovaları Hidrojeolojik Etüd Raporu*, DSI, İşletme Müdürlüğü Matbaası, 56 s., Ankara.
- Ünalı, Ü. (1990). *Eğirdir Gölü Doğusunun Fiziki Coğrafyası*, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Türkiye Coğrafyası Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 218 s., (yayınlanmamış).
- Yitbarek, A. (2009). *Hydrogeological and Hydrochemical Framework of Complex Volcanic System in the Upper Awash River Basin, Central Ethiopia: With Special Emphasis on Inter-Basins Groundwater Transfer between Blue Nile and Awash Rivers*. Unpublished PhD Thesis, Addis Ababa University, Addis Ababa.
- Zheng, C. (1990). *MT3D, a modular three-dimensional transport model*, S.S. Papadopoulos & Associates, Inc., Rockville, Maryland.
- Zheng, C., Wang, P., P. (1998). *MT3DMS, A modular three-dimensional multispecies transport model for simulation of advection, dispersion and chemical reactions of contaminants in groundwater systems. Documentation and user's guide*. Departments of Geology and Mathematics, University of Alabama.



# Güney (Denizli) Civarında Jeotermal Enerji Arama: Derin Düşey Elektrik Sondaj (DES) Ölçümlerinin Jeofizik ve Jeolojik Yorumu

Adil Özdemir<sup>1\*</sup>, Yıldırım Palabıyık<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Adil Özdemir Danışmanlık, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

(İlk Geliş Tarihi 1 Aralık 2019 ve Kabul Tarihi 31 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.653565)

**ATIF/REFERENCE:** Özdemir, A. & Palabıyık, Y. (2020). Güney (Denizli) Civarında Jeotermal Enerji Arama: Derin Düşey Elektrik Sondaj (DES) Ölçümlerinin Jeofizik ve Jeolojik Yorumu. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (17), 1198-1214.

## Öz

Düşey elektrik sondaj (DES) yöntemi, jeolojik sorunların çözümünde başvurulan başlıca jeofizik yöntemler arasında yer alır. Kayaçların yatay veya düşey yöndeki elektriksel iletkenlik farklarından yararlanılarak jeolojik yapının aydınlatılması, elektrik rezistivite (özdirenç) yönteminin uygulamasındaki temel amaçtır. Bu yöntemde, yeraltı tabakalarının derinlikleri ve kalınlıkları özdirenç farklılıklarından faydalanılarak belirlenmeye çalışılır. Bu çalışmada, Güney (Denizli) civarında DES ölçümleri ile jeotermal enerji aranması amaçlanmıştır. Bu amaçla, AB/2 = 1800 m kuramsal derinlik için ölçülen 15 adet özdirenç ölçümü, EarthImager 1D programı ile değerlendirilmiştir. 2B rezistivite ve stratigrafik enine kesitler hazırlanmış ve yorumlanmıştır. Çalışma alanında, tektonizma kontrollü olarak jeotermal faaliyet varlığını gösteren düşük rezistivite anomalileri belirlenmiş ve 3B kavramsal jeotermal model tasarlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** jeotermal arama, rezistivite, düşey elektrik sondaj (DES), jeolojik yorum, Batı Anadolu

## Geothermal Energy Exploration around Güney (Denizli): Geophysical and Geological Interpretations of Deep Vertical Electrical Sounding (VES) Measurements

### Abstract

The vertical electrical sounding (VES) method is one of the main geophysical methods used in solving geological problems. The main purpose for the application of the electrical resistivity method is to illuminate the geological structure by utilizing the electrical conductivity differences of the rocks in the horizontal or vertical directions. In this method, depths and thicknesses of formation layers in the subsurface are tried to be determined by using resistivity differences. In this study, it is aimed to explore geothermal energy around Güney (Denizli) by VES measurements. For this purpose, 15 resistivity measurements, measured for AB/2 = 1800 m theoretical depth, have been assessed by using EarthImager 1D software. 2D resistivity and stratigraphic cross-sections have been prepared and interpreted. In the study area, low-resistivity anomalies indicating the presence of geothermal activity controlled by tectonism have been determined and a 3D conceptual geothermal model has been designed.

**Keywords:** geothermal exploration, resistivity, vertical electrical sounding (VES), geological interpretation, Western Anatolia

\* Sorumlu Yazar: Adil Özdemir, Ankara, Türkiye, ORCID: 0000-0002-3975-2846, [adilozdemir2000@yahoo.com](mailto:adilozdemir2000@yahoo.com)

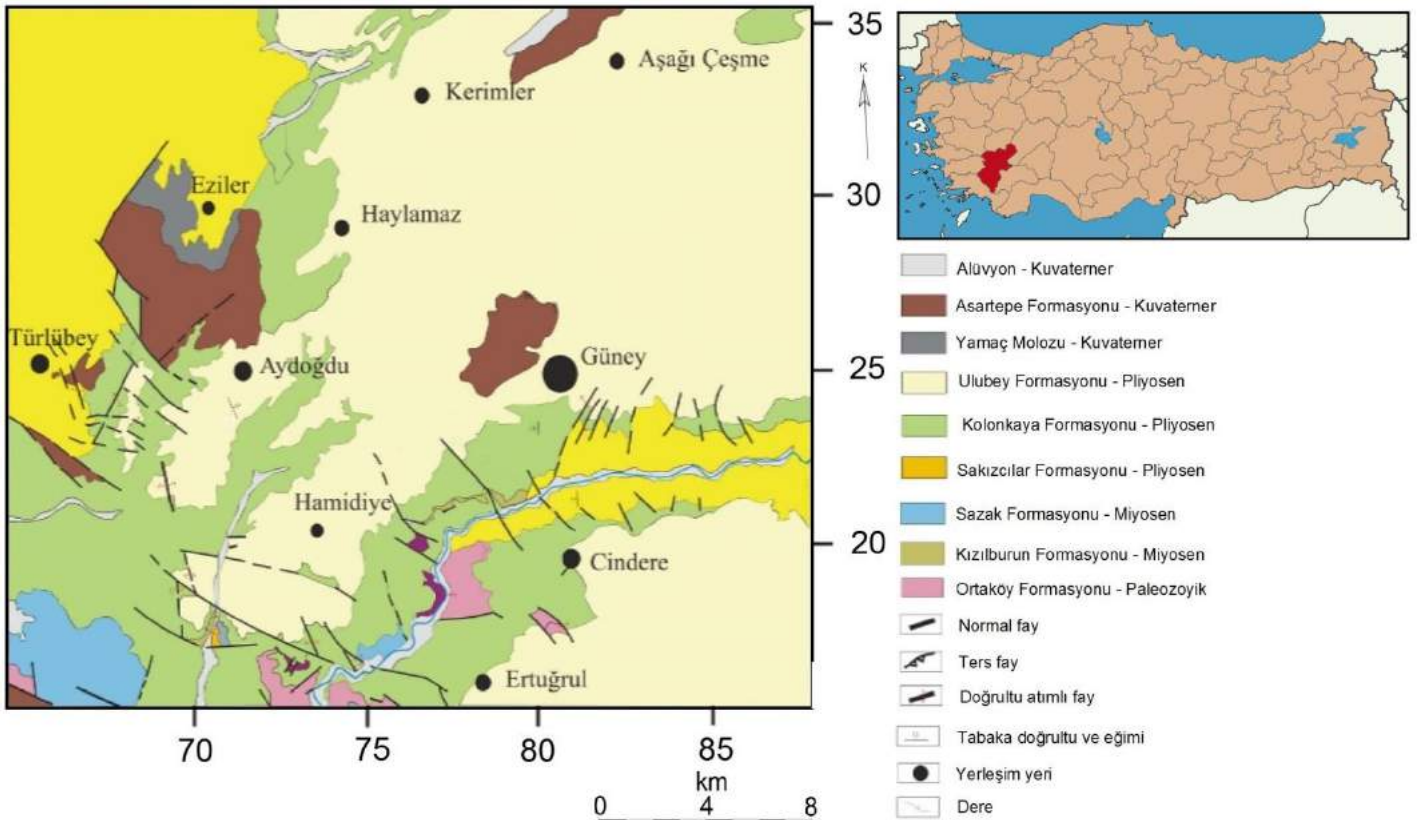


## 1. Giriş

Jeofizik etütler, özellikle faylanma ve litostratigrafik birimlerin kalınlıklarındaki değişim ve temel yapılar gibi sığ ve derin rezervuarların yapısal özelliklerini belirlemek amacıyla jeotermal aramalarda kullanılmaktadır. Jeotermal alanlarda, jeolojik birimlerin fiziksel özellikleri buldukları ortama göre farklılıklar göstermektedir. Bu olgudan yararlanarak, jeofizik yöntemlerle jeotermal sistemlerin derinliği ve boyutları hakkında bilgilere destek sağlayıcı veriler elde edilmektedir. Bir jeotermal alanı tanımlamanın ilk koşulu, alanın jeolojik etüdüdür. Yüzeysel jeolojik çalışmalar ile bir jeotermal sistem tam olarak tanımlanamaz. Bu nedenle, ilk jeolojik çalışmalar ışığında, potansiyel jeotermal sahanın jeofizik yöntemler ile araştırılması gereklidir. Jeofizik araştırmalar, yeryüzünün görünmeyen ve bilinmeyen birimlerinin doğadaki fiziksel ilkelerden yararlanılarak incelenmesi ve fiziksel özelliklerine bağlı olarak tanımlanmasıdır. Bu bağlamda, dinamik bir ortam olan jeotermal sistemlerin, mutlaka fiziksel özelliklerindeki farklılıklardan yararlanarak incelenmesi gereklidir. Böylece, jeofizik araştırmalar yardımı ile araştırılan bir jeotermal alan, değişik fiziksel parametrelere bağlı olarak incelenerek ortama uygun model kurulabilir. Günümüzde, bilgisayar dünyası başta olmak üzere teknolojiye yaşanan hızlı gelişmeler, bu tür çalışmalarda daha gerçekçi ve görsel sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır. Tüm bunlara karşın, yine de en önemli husus, mühendislik yorumudur. Yorumlama sırasında; bölgenin öncel jeolojik, hidrojeolojik, jeokimyasal ve sondaj araştırmalarının önemli oranda katkısı olmaktadır. Jeotermal alanların jeofizik yöntemlerle araştırılması sırasında kullanılan farklı fiziksel yöntemler, söz konusu alanın değişik özelliklerinin ortaya çıkarılmasını sağlayacaktır. Bu özellikler, ortamın temel jeolojik birimlerini belirlemenin yanı sıra, ortamdaki dinamik karakterin incelenerek modellenmesi yoluyla sistemi daha ayrıntılı tanımlayabilme olanağını da sunar. Böylece, jeotermal sistemin ısı kaynağı, rezervuar, örtü kaya, gömülü kırık sistemleri ve jeotermal akışkanı yüzeye taşıyan kırıklar ve faylar üzerindeki iletim hatları gibi önemli özellikleri tanımlanmaya çalışılarak sistemin daha gerçekçi bir modeli kurulabilir.

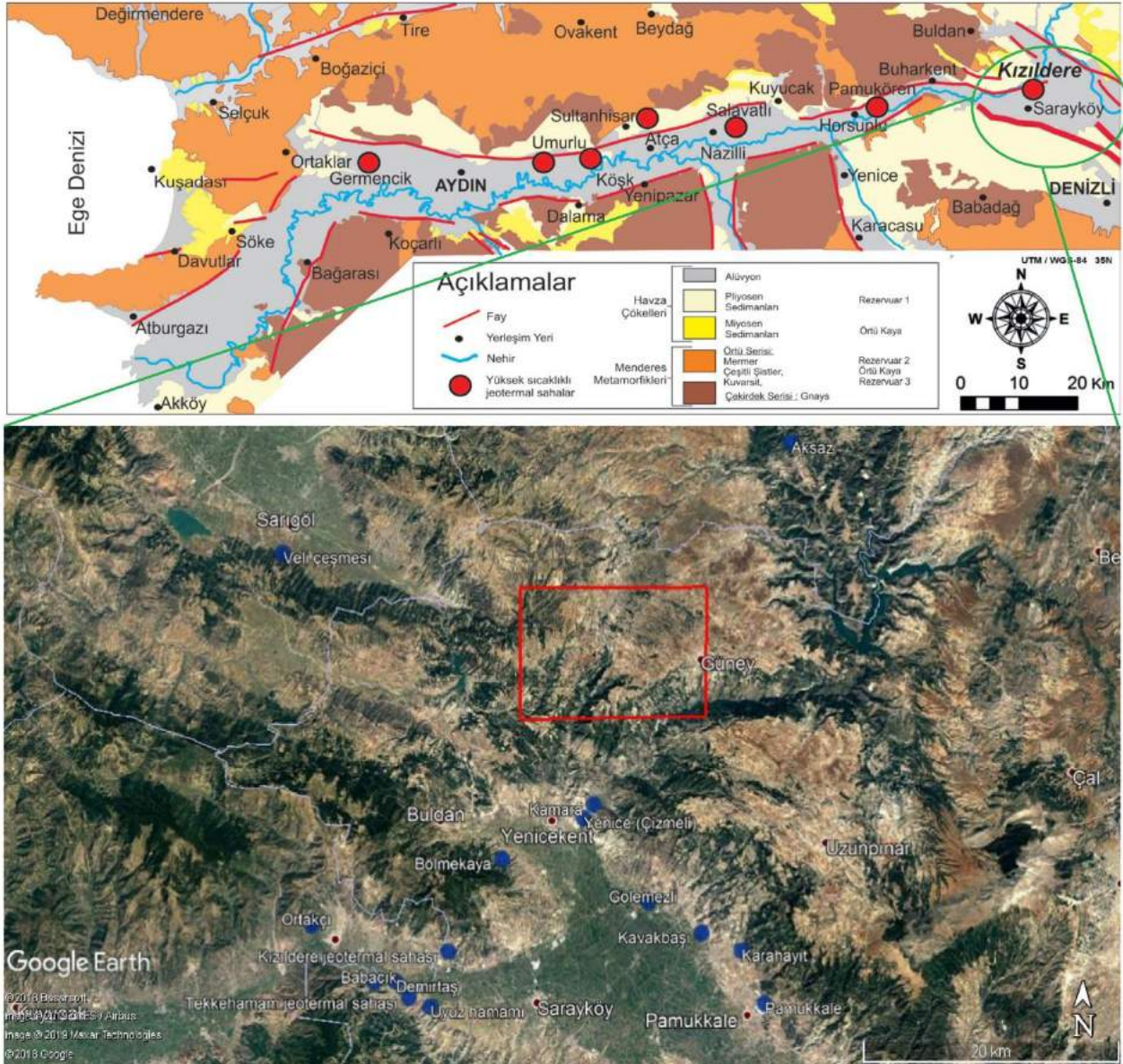
Düşey elektrik sondaj (DES) yöntemi, jeolojik sorunların çözümünde kullanılan başlıca jeofizik yöntemler arasında yer alır. Kayaçların yatay veya düşey yöndeki elektriksel iletkenlik farklarından yararlanılarak, jeolojik yapının aydınlatılması, elektrik özdirenç yönteminin uygulamasındaki temel amaçtır. Bu çalışmada, Schlumberger yöntemi ile alınan DES ölçümleri ile çalışma alanının yeraltı jeolojisinin ve jeotermal potansiyelinin yorumlanması amaçlanmıştır. Bu amaçla, AB/2 = 1800 m kuramsal derinlik için 15 adet DES ölçüsü alınmış, alınan ölçüler EarthImager 1D programı ile değerlendirilmiştir. Bu çerçevede, DES eğrileri, özdirenç ve stratigrafik enine kesitler, hazırlanmış ve yorumlanmıştır. Bu çalışmada, belirlenen enine kesit hatları boyunca tektonizma kontrollü olarak jeotermal aktivite varlığını belirten düşük özdirenç anomalileri belirlenmiştir.

Çalışma alanında, alttan üste doğru sırasıyla, (1) Paleozoik yaşlı metamorfik kayaçlar (gözlü gnays ve şist) (2) Paleozoik yaşlı mermerler, (3) Üst Miyosen - Pliyosen yaşlı Ulubey formasyonu, (4) Pliyo-Kuvaterner yaşlı Asartepe formasyonu ve (5) Kuvaterner yaşlı alüvyonlar olmak üzere 5 farklı birim bulunmaktadır (Şekil 1). Büyük Menderes Grabeni'nde (Batı Anadolu) çok sayıda jeotermal amaçlı çalışma yapılmıştır ve Türkiye'nin en yüksek entalpili jeotermal sahaları, bu graben içerisinde yer almaktadır (Şekil 2). Türkiye'de şu ana kadar keşfedilmiş jeotermal sistemler, çoğunlukla sınının hakim olduğu rezervuarları içermektedir. Türkiye'deki en büyük iki graben sistemi olan Büyük Menderes ve Gediz Grabenleri'nde orta-yüksek sıcaklıktaki jeotermal sahalardan üretim yapan 30'un üzerinde jeotermal enerji santrali bulunmaktadır (Haklıdır, 2017).



Şekil 1. Çalışma alanının jeoloji haritası (Bülbul, 2005'den düzenlenmiştir)





Şekil 2. Çalışma alanının bulunduğu bölgenin jeotermal potansiyeli (Haklıdır ve diğ., 2012 ve MTA, 2005'den düzenlenmiştir). Kırmızı dikdörtgen, çalışma alanını göstermektedir.

## 2. Derin Düşey Elektrik Sondaj (DES) Ölçümlerinin Jeofizik ve Jeolojik Yorumu

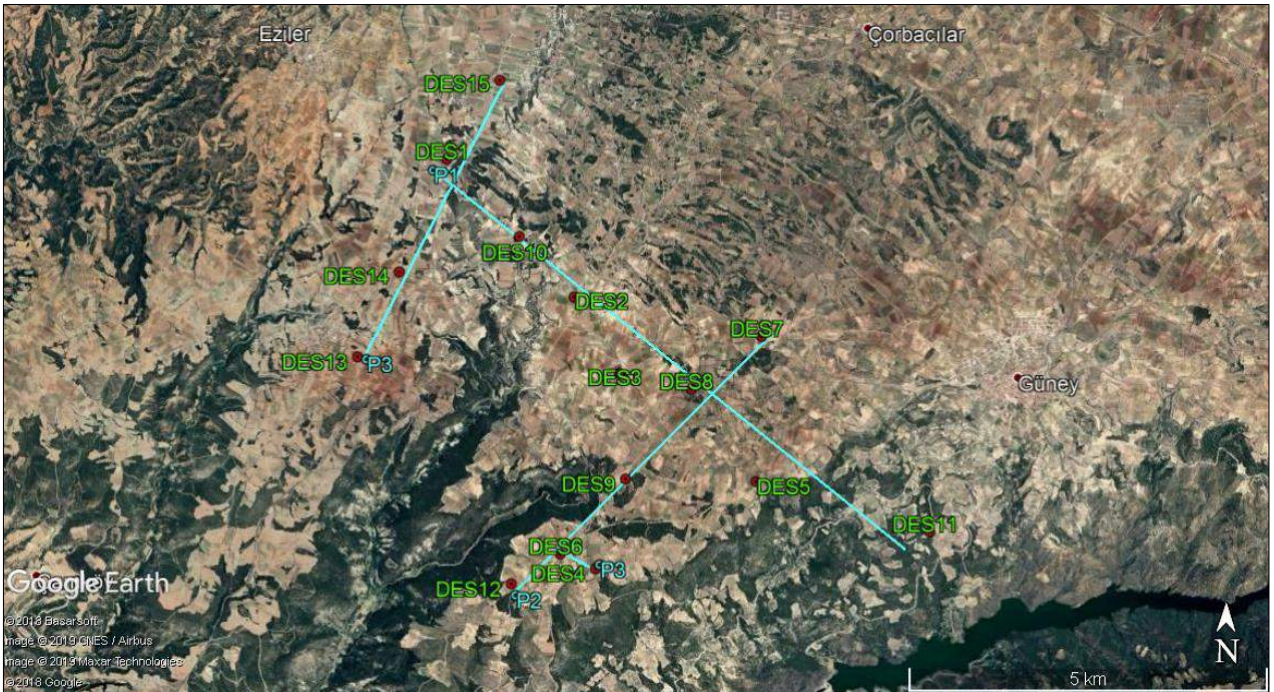
Elektriği iyi ileten ortamların özdirenç değeri düşük, elektriği iletmeyen ortamların özdirenç değeri yüksektir. Bu prensipten hareketle, içerisinde su bulunan formasyonların iletkenlikleri yüksek, dolayısı ile özdirençleri düşük olacaktır. Mineral çözeltileri içeren akışkanların bulunduğu formasyonların özdirenç değerleri ise, daha da düşük olacaktır. Ortamın özdirençini etkileyen birçok etken vardır. Bunlar; jeolojik birimlerin gözenekliliğindeki değişimler, içerdiği çözeltilerin kimyasal durumları, yoğunluklarındaki farklılıklar ve ısı değişimleri gibi etkenlerdir. Özellikle, jeotermal bir sistemin bu tür değişimlerin tümünü barındırmasıyla ortamda bulunan farklı ve hızlı değişen fiziksel özelliklerin jeofizik özdirenç araştırmasının başarısını etkilediği bilinen bir gerçektir. Jeotermal bir alan üzerinde yapılan özdirenç araştırmasında, ortamın ısı, gözeneklilik, tuzluluk ve iyonik mineral oranındaki artış doygun kayacın özdirençini azaltıcı bir etkidir. Bu önemli olgu, jeotermal akışkanın belirlenmesinde etkilidir. Ayrıca, hidrotermal etkinlikler sonucu oluşmuş kil minerallerinin varlığı da ortamın özdirençinin belirlenmesinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu etkilerin tümü, özdirenç düşmesine neden olur ve akışkan içeren jeotermal sistemlerin tümünde gözlenir. Ancak, sıvının hakim olduğu rezervuarlar yerine buharın hakim olduğu rezervuarlar üzerinde yapılan özdirenç araştırmaları, bu tür rezervuarların görece olarak daha yüksek özdirenç değerleri verdiğini de ortaya koymuştur. Doğaldır ki, bu tür rezervuarların suya doygun bölümleri de düşük özdirençli zonlarla tanımlanabilir. Jeotermal alanlar, tektonik aktivitenin etkin olduğu ve önemli değişimler geçirmiş yerlerde bulunmaktadır. Böylece, jeolojik açıdan birçok değişik türde süreksizliğe sahiptirler. Bu özellik, gömülü rezervuarın bilinmeyen, tanımlanmamış ve boyutları düşünüldüğünde de oldukça karmaşık olan yapısı için birçok belirsizliğe neden olabilir. Ancak, ortamda sıcak tuzlu sular ve kil içeriğinin bulunduğu durumlarda, ortamlar arasındaki yüksek özdirenç zıtlığının ortaya çıkması çözümü bir ölçüde kolaylaştırıcı bir etken olmaktadır. Jeofizik literatüründe, jeotermal aramalarda kullanılan özdirenç yöntemleri üzerine birçok araştırma bulunmaktadır ve çok sayıda jeotermal rezervuar bu yöntem yardımıyla araştırılmıştır.



Jeotermal alanların çoğunluğu engebeli, dağlık alanlar üzerinde veya bu alanların yakınında bulunurlar. Bu alanların geleneksel doğrusal dizilimlerle ölçülmesi, birçok sorunu da beraberinde getirdiğinden, uygun dizilimin kullanılması, bu sorunu aşmada yardımcı olabilir. Özdirenç yöntemi, gömülü hidrotermal yapının boyutlarını belirlemek ve bu yapıları jeotermal rezervuarlar ile ilişkili termal ve hidrojeolojik yapılarla ilişkilendirmek için Schlumberger veya Wenner elektrot dizilimi kullanılarak gerçekleştirilebilir. Tüm ölçümlerin tek tek değerlendirilmesi ile, 2B (iki boyutlu) olarak hazırlanan yer-elektrik kesitlerinin saha bazında 3B (üç boyutlu) olarak değerlendirilerek alanın gerçek özdirenç yapısı yorumlanabilir. Bilindiği üzere, yer kabuğunu oluşturan kayaçların fiziksel özellikleri, bulunduğu ortamlar ve jeolojik oluşumlarına göre farklılıklar göstermektedir. Kayaçların elektriksel özdirenç özellikleri de, bu manada geniş bir aralıkta değişim gösterir. Özdirenç değeri baz alınarak bir kayacın adlandırılması, her jeotermal saha için farklılık gösterir. Özdirenç eğrilerinin, bu temel kriter dikkate alınarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Özdirenç değerlerini ve bu değerler sonucu elde edilen eğrileri, jeotermal sahalarda etkileyen tek olumsuzluk, kayacın fiziksel özellikleri değildir. Sahanın tektonik yapısı, özdirenç değerlerini açılım doğrultusundan dolayı da etkilemektedir. Genel olarak; jeotermal sahalarda engebeli yapısı, istenilen açılım doğrultusunda (faya paralel) ölçüm alınabilmesine olanak tanımamaktadır. Bu durumda, değerlendirmelerin yapıma şeklinin ve diğer özdirenç yöntemlerinden nasıl yararlanılacağına bilinmesi gerekmektedir. Jeotermal sistemin açık veya kapalı bir sistem olması durumunda, jeofizik özdirenç çalışmalarının uygulanması da farklılık göstermektedir. Jeotermal sahalarda jeotermal akışkanı bünyesinde tutan kayaçlar genel olarak gözenekli ve geçirgenliği yüksek kayaçlardır. Bu kayaçlar, kireçtaşı, mermer, kuvarsit, kalkışt ve gnays gibi yüksek özdirenç gösteren kayaçlardır. Kapalı bir jeotermal sistemde, örtü kayacı temsil eden jeolojik birimler düşük özdirençli sahiptir (kil, silt, kıltaşı, marn vb.).

## 2.1. Çalışma Alanında Yapılan DES Çalışmaları

Çalışma alanının büyük bir bölümü, jeofizik uygulamalara uygun düz bir topoğrafyaya sahiptir. Jeofizik ölçüm yapılan alanların güney ve güney-güneydoğu kesimleri oldukça sarp ve engebeli bir yapıdadır. Engebeli alanlarda, DES ölçümlerini istenilen derinlikte yapmak mümkün olmamıştır. Ancak, koşullar zorlanarak derin araştırmaya uygun bölgelerde 15 adet DES ölçümü alınmış ve maksimum 1800 m derinliğe kadar olan jeolojik yapı araştırılmıştır (Şekil 3). Jeoelektrik arazi ölçümleri, 3 amperlik rezistivite cihazı ve ekipmanı kullanılarak alınmıştır. Güç kaynağı, 220 volt ve 5.5 Kw'lık alternatif akım üreten benzinli jeneratördür. Alıcının duyarlılığı ise, 0.01 mV/scala'dır. Sistemde, jeneratör grubunun oluşturduğu güç kaynağından elde edilen alternatif akım (AC), önce varyak ile ayarlanmakta; daha sonra bir redresör üzerinden geçirilerek doğru akıma (DC) çevrilmektedir. Elde edilen doğru akım (DC) yeraltına verilmektedir. DC çıkış voltajı maksimum 1000 volt, yeraltına verilen akım ise maksimum 2 amper civarındadır. Kullanılan akım elektrotları (C1, C2), paslanmaz çelikten yapılmış uzun çubuklar şeklindedir. Potansiyel elektrotları (P1, P2) ise, polarize olmayan bakır sülfat içerikli elektrotlardır. Kablolar, tamamen bakırlı ve iyi yalıtılmış tiptedir. Çalışma alanında yapılan jeoelektrik etüdün amacının, jeolojik birimlerin derinlere doğru değişimini incelemek olması nedeniyle, DES ölçümlerinde Schlumberger elektrot dizilimi kullanılmıştır.



Şekil 3. Çalışma alanındaki derin düşey elektrik sondaj (DES) ölçüm noktalarının ve profillerin yer bulduru haritası

### 2.1.1. DES eğrileri ve yorumları

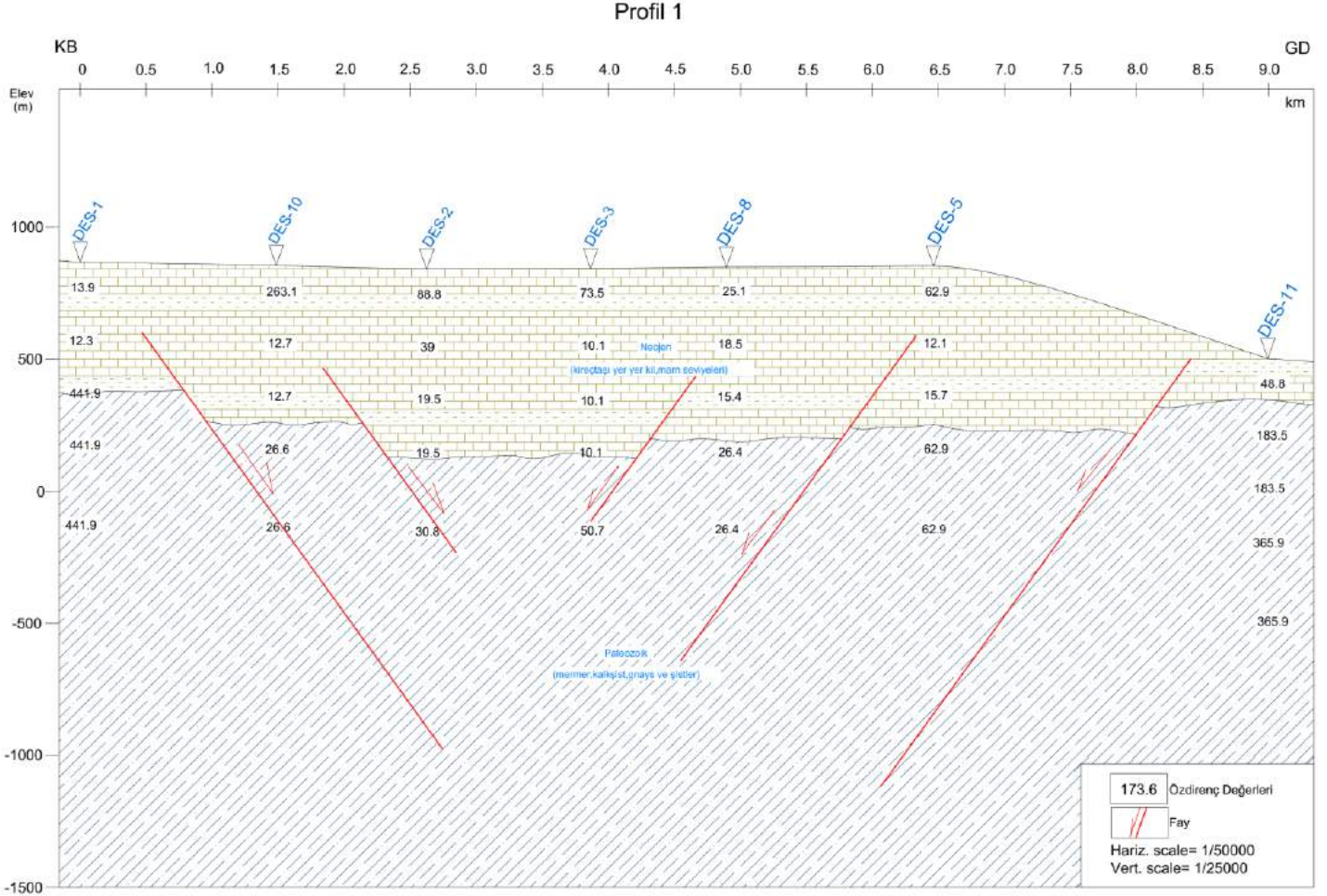
DES ölçümlerinin değerlendirilmesinde, bölgedeki jeolojik birimler göz önüne alınır ve yer-elektrik yapı bu birimlerle denestirilir. Bu şekilde, jeolojik yapının dolaylı olarak tespitine çalışılır. Jeolojik yapı, her zaman bire bir yer-elektrik yapıya uymayabilir. Yapılan çalışmalarla elde edilen veriler, doğrudan jeotermal akışkana işaret etmez. Ancak, bu yöntem, tespit edilen yüksek özdirençli (rezistif) ve düşük özdirençli (iletken) ortamların jeolojik yapı ile denestirilerek jeotermal sistemin tanımlanması esasına dayanır. Çalışma



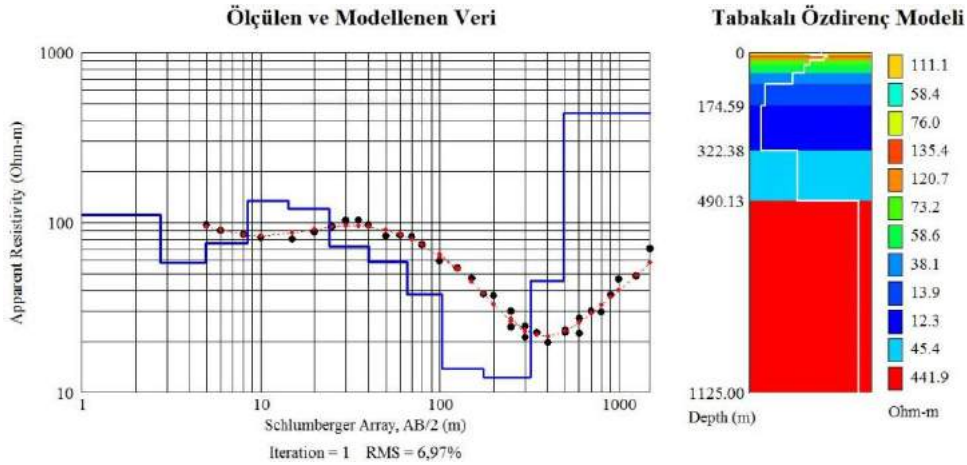
alanında yapılan DES ölçümleri sonucunda elde edilen eğriler ve değerlendirme sonuçlarından faydalanılarak, yer-elektrik yapısını daha iyi yorumlayabilmek amacıyla 4 adet profil hazırlanmıştır (Şekil 3). Tabaka öz direnç değerlerinin yatay ve düşey yönde değişimini izlemek amacıyla öz direnç seviye ve taban topoğrafyası haritaları hazırlanmıştır.

**P-1 Profili Görünür Öz direnç ve Yer-Elektrik Yapı Kesiti**

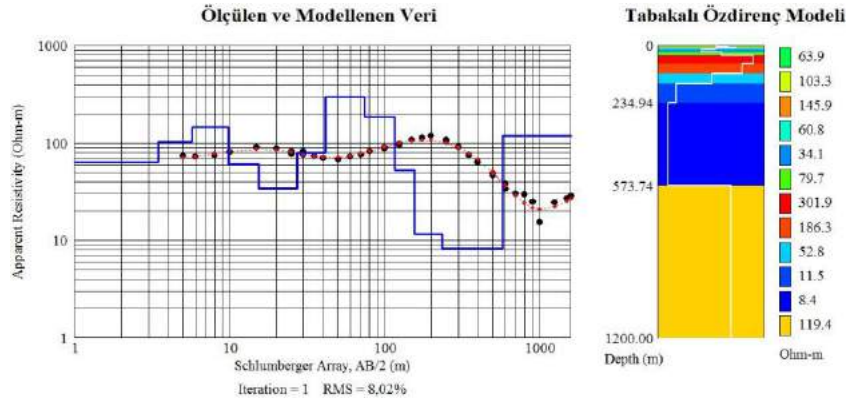
P-1 profili, çalışma alanının kuzey kesiminde yer alan KB-GD yönlü bir profildir (Şekil 3 ve 4). Jeoelektrik ölçülerde yüksek öz dirençli temel, Paleozoyik yaşlı mermerler ve çeşitli şistler ile gnayslardan oluşan metamorfik kayalardır. Yüksek öz dirençli temel üzerinde yer alan birim, görsel kireçtaşları ve yer yer killi-marnlı birimlerden oluşan Neojen yaşlı Ulubey formasyonudur. Neojen yaşlı kayalar örtü kaya niteliğindedir. Öz direnç değerleri, formasyonların genel yapısına uygun değerlerdir (Şekil 5-11).



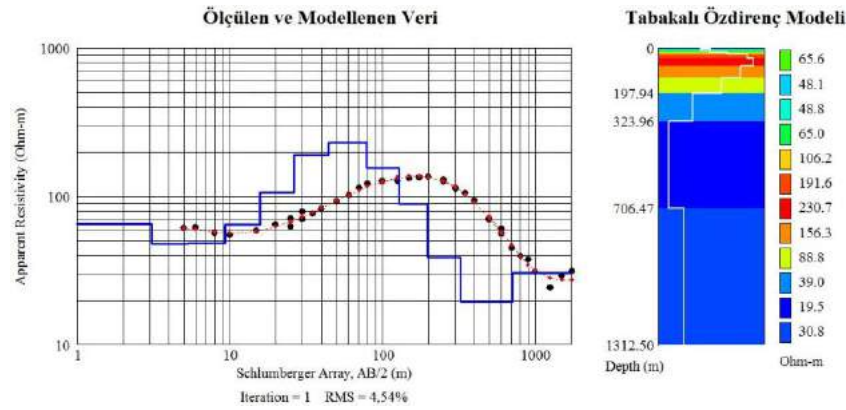
Şekil 4. P-1 profilinin yer-elektrik kesiti ve jeolojik yorumu



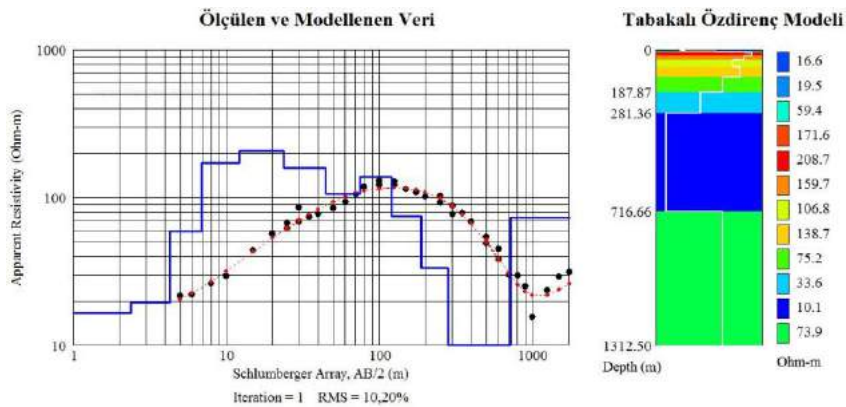
Şekil 5. DES1 noktası öz direnç eğrisinin değerlendirmesi. DES-1 eğrisinde, yüzeyden 500 m derinliğe kadar örtü kaya görülmektedir (rezistivite değeri 35 - 110 ohm.m). Bu derinlikten sonra rezistivite değerleri yükselerek mermer, şist, gnays, kuvarsit şist ve mikaşist içeren Paleozoyik yaşlı formasyon ile denestirilen elektriki temeli göstermektedir.



Şekil 6. DES10 noktası özdirenç eğrisinin değerlendirmesi. DES-10 eğrisinde, yüzeyden 600 m derinliğe kadar örtü kaya görülmektedir (rezistivite değeri 60 - 120 ohm.m). Daha sonra, 600 - 750 m derinlikte fay zonu görülmektedir. Bu zon aynı zamanda temel kaya - hazne kayadır (Rezistivite eğrisine göre esas temel değildir). Fay zonunun oluşturduğu ezilmeyle birlikte gelişen alterasyon nedeniyle ve jeotermal akışkanın da etkisiyle rezistivite değeri 900 - 1100 m derinlikte tekrar düşmekte (15 - 25 ohm.m) ve 1200 m'den sonra rezistivite değerleri yükselerek mermer, şist, gnays, kuvarsit şist ve mikaşist içeren Paleozoyik yaşlı formasyon ile denestirilen elektriki temeli göstermektedir.

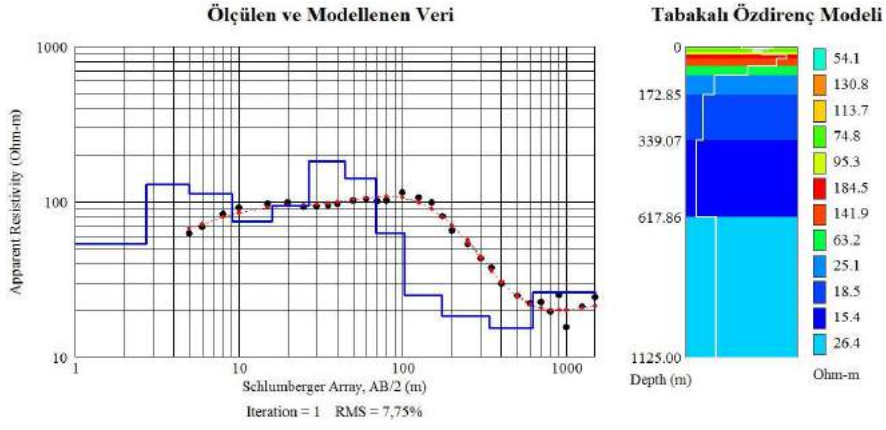


Şekil 7. DES2 noktası özdirenç eğrisinin değerlendirmesi. DES-2 eğrisinde, yüzeyden 700 m derinliğe kadar örtü kaya görülmektedir (rezistivite değeri 60 - 130 ohm.m). Daha sonra, 700 - 850 m derinlikte fay zonu görülmektedir. Bu zon aynı zamanda temel kaya - hazne kayadır (Rezistivite eğrisine göre esas temel değildir). Fay zonunun oluşturduğu ezilmeyle birlikte gelişen alterasyon nedeniyle ve jeotermal akışkanın da etkisiyle rezistivite değeri 1000 - 1200 m derinlikte tekrar düşmekte (25 - 30 ohm.m) ve 1250 m'den sonra rezistivite değerleri yükselerek mermer, şist, gnays, kuvarsit şist ve mikaşist içeren Paleozoyik yaşlı formasyon ile denestirilen elektriki temeli göstermektedir.

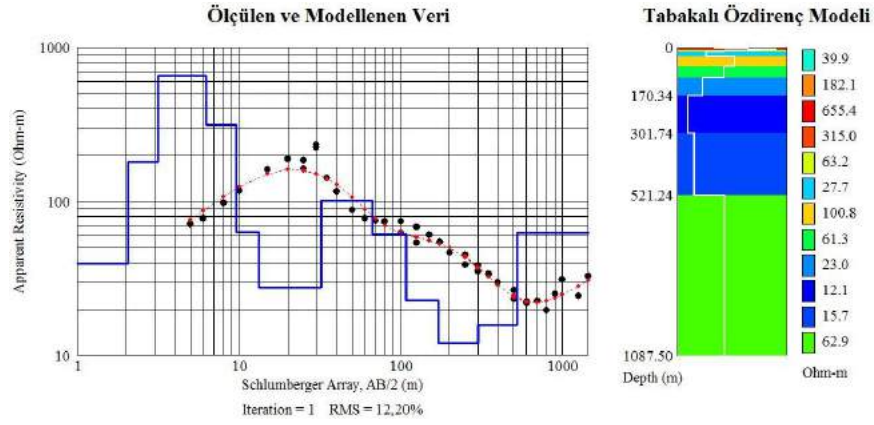


Şekil 8. DES3 noktası özdirenç eğrisinin değerlendirmesi. DES-3 eğrisinde, yüzeyden 700 m derinliğe kadar örtü kaya görülmektedir (rezistivite değeri 60 - 130 ohm.m). Daha sonra, 700 - 850 m derinlikte fay zonu görülmektedir. Bu zon aynı zamanda temel kaya - hazne kayadır (Rezistivite eğrisine göre esas temel değildir). Fay zonunun oluşturduğu ezilmeyle birlikte gelişen alterasyon nedeniyle ve jeotermal akışkanın da etkisiyle rezistivite değeri 1000 - 1200 m derinlikte tekrar düşmekte (15 - 25 ohm.m) ve 1250 m'den sonra rezistivite değerleri yükselerek mermer, şist, gnays, kuvarsit şist ve mikaşist içeren Paleozoyik yaşlı formasyon ile denestirilen elektriki temeli göstermektedir.

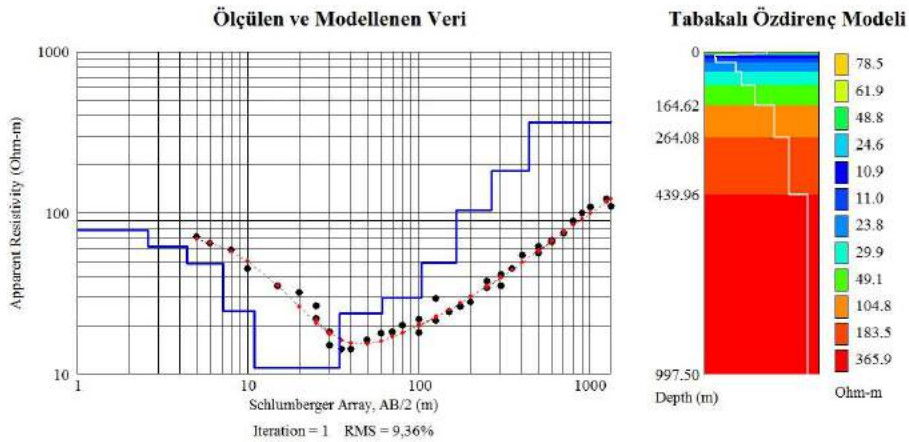




Şekil 9. DES8 noktası özdirenç eğrisinin değerlendirilmesi. DES-8 eğrisinde, yüzeyden 600 m derinliğe kadar örtü kaya görülmektedir (rezistivite değeri 60 - 120 ohm.m). Daha sonra, 600 - 800 m derinlikte fay zonu görülmektedir. Bu zon aynı zamanda temel kaya - hazne kayadır (Rezistivite eğrisine göre esas temel değildir). Fay zonunun oluşturduğu ezilmeye birlikte gelişen alterasyon nedeniyle ve jeotermal akışkanın da etkisiyle rezistivite değeri 800 - 1000 m derinlikte tekrar düşmekte (15 - 25 ohm.m) ve 1200 m'den sonra rezistivite değerleri yükselerek mermer, şist, gnays, kuvarsit şist ve mikaşist içeren Paleozoyik yaşlı formasyon ile denestirilen elektriki temeli göstermektedir.



Şekil 10. DES5 noktası özdirenç eğrisinin değerlendirilmesi. DES-5 eğrisinde, yüzeyden 600 m derinliğe kadar örtü kaya görülmektedir (rezistivite değeri 60 - 250 ohm.m). Daha sonra, 600 - 800 m derinlikte fay zonu görülmektedir. Bu zon aynı zamanda temel kaya - hazne kayadır (Rezistivite eğrisine göre esas temel değildir). Fay zonunun oluşturduğu ezilmeye birlikte gelişen alterasyon nedeniyle ve jeotermal akışkanın da etkisiyle rezistivite değeri 800 - 1000 m derinlikte tekrar düşmekte (15 - 25 ohm.m) ve 1200 m'den sonra rezistivite değerleri yükselerek mermer, şist, gnays, kuvarsit şist ve mikaşist içeren Paleozoyik yaşlı formasyon ile denestirilen elektriki temeli göstermektedir.

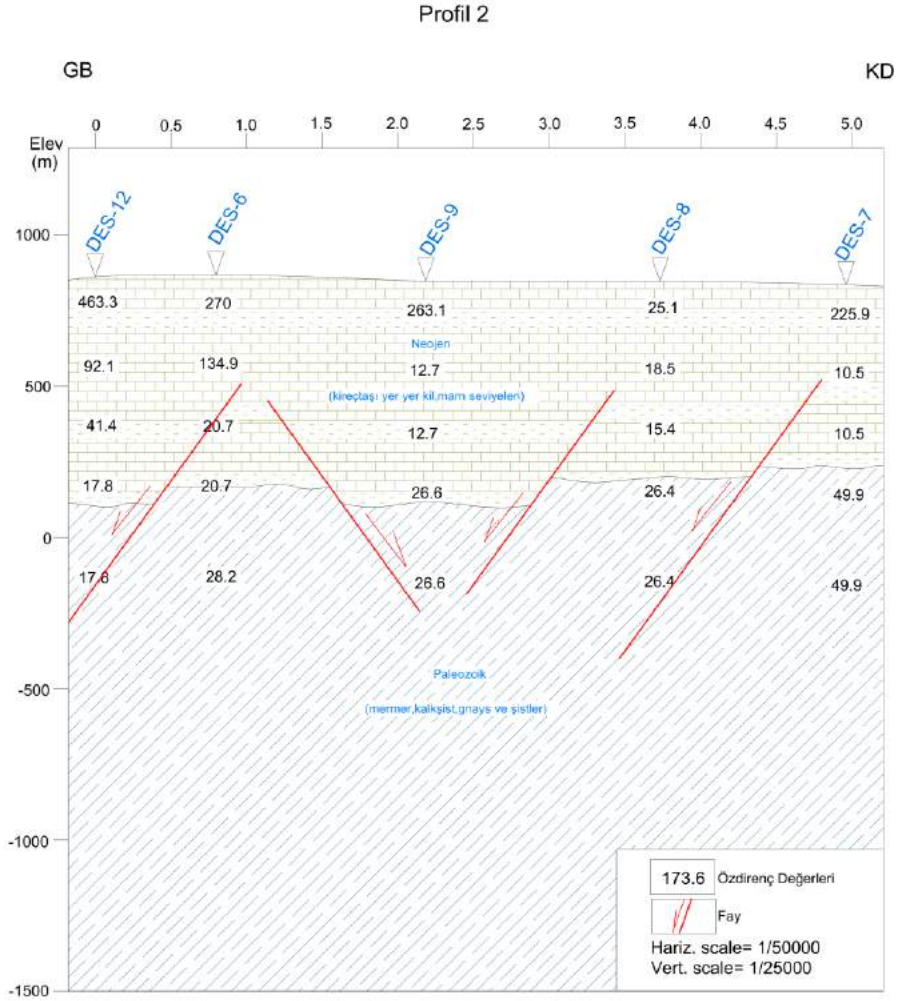


Şekil 11. DES11 noktası özdirenç eğrisinin değerlendirilmesi. DES-11 eğrisinde, yüzeyden 165 m derinliğe kadar örtü kaya görülmektedir (rezistivite değeri 25 - 75 ohm.m). Bu derinlikten sonra rezistivite değerleri yükselerek mermer, şist, gnays, kuvarsit şist ve mikaşist içeren Paleozoyik yaşlı formasyon ile denestirilen elektriki temeli göstermektedir.

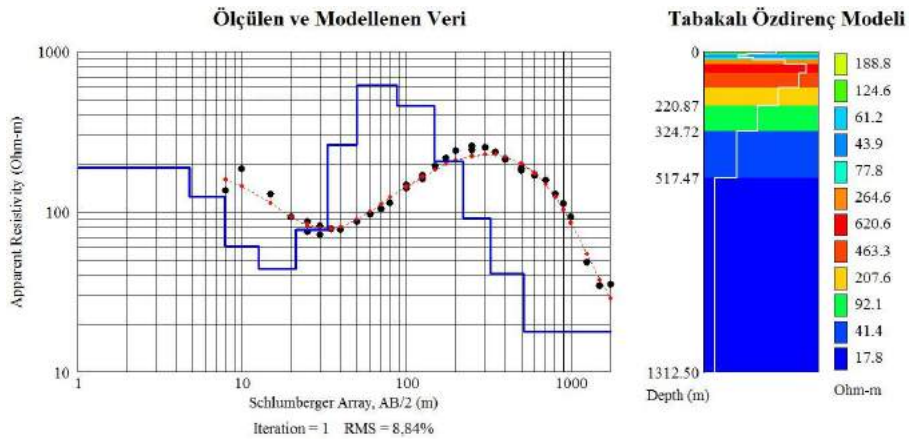


P-2 Profili Görünür Özdirenç ve Yer-elektrik Yapı Kesiti

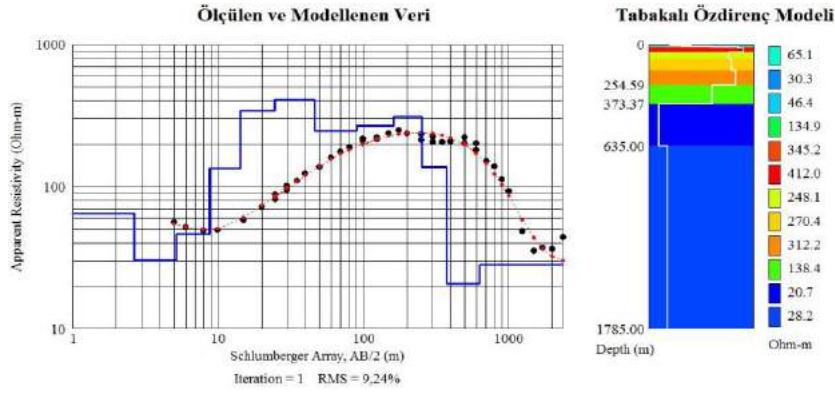
P-2 profili, çalışma alanının kuzey kesiminde yer alan KD-GB yönlü bir profildir (Şekil 3 ve 12). Jeoelektrik ölçülerde yüksek özdirençli temel, Paleozoyik yaşlı mermerler ve çeşitli şistler ile gnayslardan oluşan metamorfik kayalar ile denestirilmiştir. Yüksek özdirençli temel üzerinde yer alan birim, gösel kireçtaşları ve yer yer killi-marnlı birimlerden oluşan Neojen yaşlı Ulubey formasyonudur. Neojen yaşlı kayalar örtü kaya niteliğindedir (Şekil 13-17).



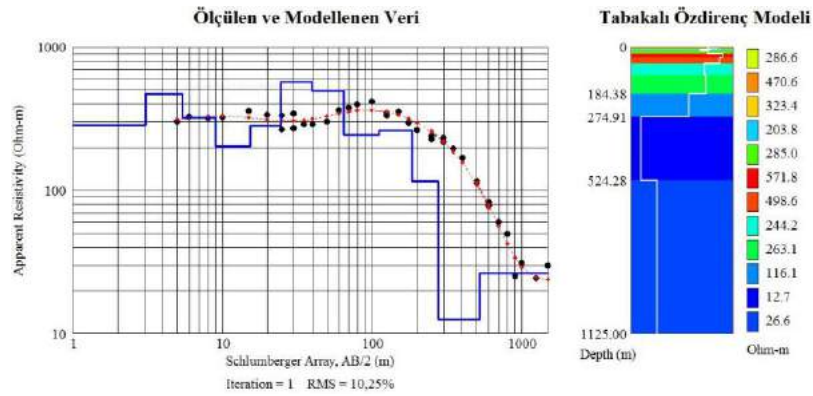
Şekil 12. P-2 profilinin yer-elektrik kesiti ve jeolojik yorumu



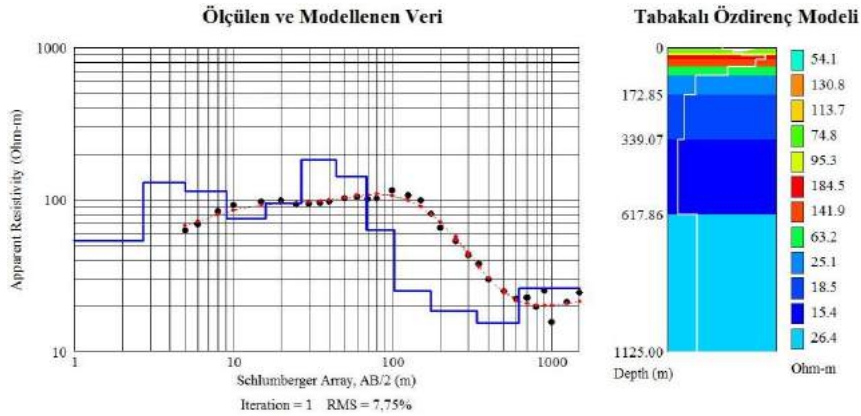
Şekil 13. DES12 noktası özdirenç eğrisinin değerlendirmesi. DES-12 eğrisinde, yüzeyden 700 m derinliğe kadar örtü kaya görülmektedir (rezistivite değeri 70 - 260 ohm.m). Daha sonra, 700 - 900 m derinlikte fay zonu görülmektedir. Bu zon aynı zamanda temel kaya - hazne kayadır (Rezistivite eğrisine göre esas temel değildir). Fay zonunun oluşturduğu ezilmeye birlikte gelişen alterasyon nedeniyle ve jeotermal akışkanın da etkisiyle rezistivite değeri 1200 - 1300 m derinlikte tekrar düşmekte (35 - 49 ohm.m)'dir. Bu ölçüm, yeterli açılım alanı olmaması nedeniyle bu derinliğe kadar açılabilmiştir.



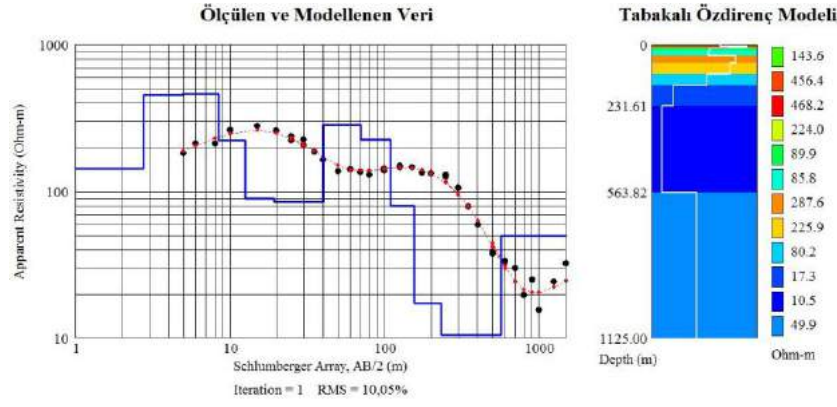
Şekil 14. DES6 noktası özdirenç eğrisinin değerlendirilmesi. DES-6 eğrisinde, yüzeyden 700 m derinliğe kadar örtü kaya görülmektedir (rezistivite değeri 50 - 250 ohm.m). Daha sonra, 700 - 900 m derinlikte fay zonu görülmektedir. Bu zon aynı zamanda temel kaya - hazne kayadır (Rezistivite eğrisine göre esas temel değildir). Fay zonunun oluşturduğu ezilmeye birlikte gelişen alterasyon nedeniyle ve jeotermal akışkanın da etkisiyle rezistivite değeri 1250 - 1500 m derinlikte tekrar düşmekte (35 - 49 ohm.m) ve 1500 m'den sonra rezistivite değerleri yükselerek mermer, şist, gnays, kuvarsit şist ve mikaşist içeren Paleozoyik yaşlı formasyon ile denestirilen elektrikli temeli göstermektedir.



Şekil 15. DES9 noktası özdirenç eğrisinin değerlendirilmesi. DES-9 eğrisinde, yüzeyden 600 m derinliğe kadar örtü kaya görülmektedir (rezistivite değeri 100 - 420 ohm.m). Daha sonra, 600 - 800 m derinlikte fay zonu görülmektedir. Bu zon aynı zamanda temel kaya - hazne kayadır (Rezistivite eğrisine göre esas temel değildir). Fay zonunun oluşturduğu ezilmeye birlikte gelişen alterasyon nedeniyle ve jeotermal akışkanın da etkisiyle rezistivite değeri 800 - 1000 m derinlikte tekrar düşmekte (25 - 30 ohm.m) ve 1100 m'den sonra rezistivite değerleri yükselerek mermer, şist, gnays, kuvarsit şist ve mikaşist içeren Paleozoyik yaşlı formasyon ile denestirilen elektrikli temeli göstermektedir.



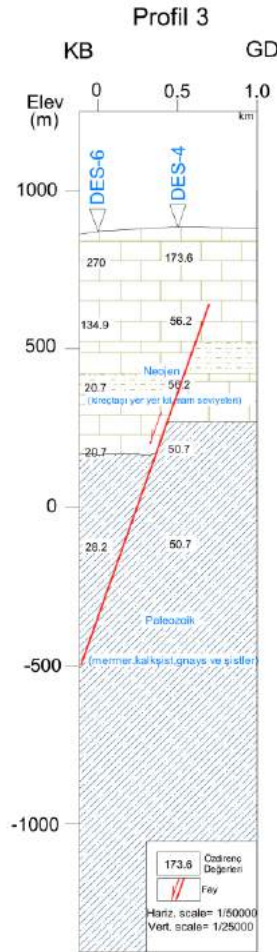
Şekil 16. DES8 noktası özdirenç eğrisinin değerlendirilmesi. DES-8 eğrisinde, yüzeyden 600 m derinliğe kadar örtü kaya görülmektedir (rezistivite değeri 60 - 120 ohm.m). Daha sonra, 600 - 800 m derinlikte fay zonu görülmektedir. Bu zon aynı zamanda temel kaya - hazne kayadır (Rezistivite eğrisine göre esas temel değildir). Fay zonunun oluşturduğu ezilmeye birlikte gelişen alterasyon nedeniyle ve jeotermal akışkanın da etkisiyle rezistivite değeri 800 - 1000 m derinlikte tekrar düşmekte (15 - 25 ohm.m) ve 1200 m'den sonra rezistivite değerleri yükselerek mermer, şist, gnays, kuvarsit şist ve mikaşist içeren Paleozoyik yaşlı formasyon ile denestirilen elektrikli temeli göstermektedir.



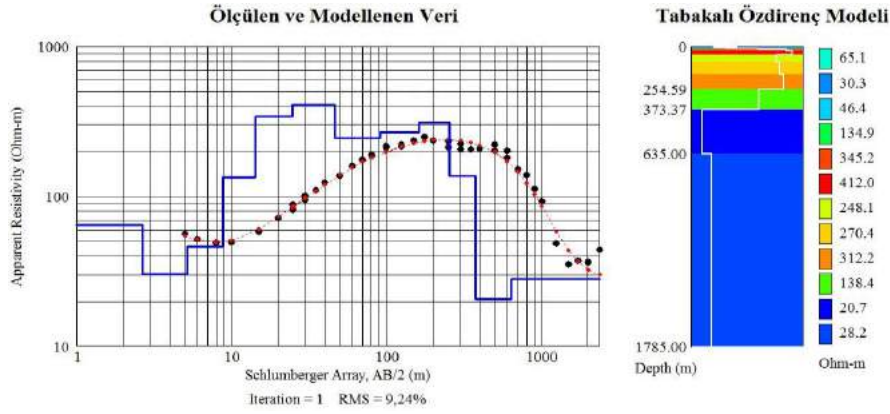
Şekil 17. DES7 noktası öz direnç eğrisinin değerlendirilmesi. DES-7 eğrisinde, yüzeyden 600 m derinliğe kadar örtü kaya görülmektedir (rezistivite değeri 60 - 280 ohm.m). Daha sonra, 600 - 800 m derinlikte fay zonu görülmektedir. Bu zon aynı zamanda temel kaya - hazne kayadır (Rezistivite eğrisine göre esas temel değildir). Fay zonunun oluşturduğu ezilmeyle birlikte gelişen alterasyon nedeniyle ve jeotermal akışkanın da etkisiyle rezistivite değeri 850 - 1000 m derinlikte tekrar düşmekte (15 - 30 ohm.m) ve 1100 m'den sonra rezistivite değerleri yükselerek mermer, şist, gnays, kuvarsit şis ve mikaşit içeren Paleozoyik yaşlı formasyon ile denestirilen elektriki temeli göstermektedir.

### P-3 Profili Görünür Öz direnç ve Yer-elektrik Yapı Kesiti

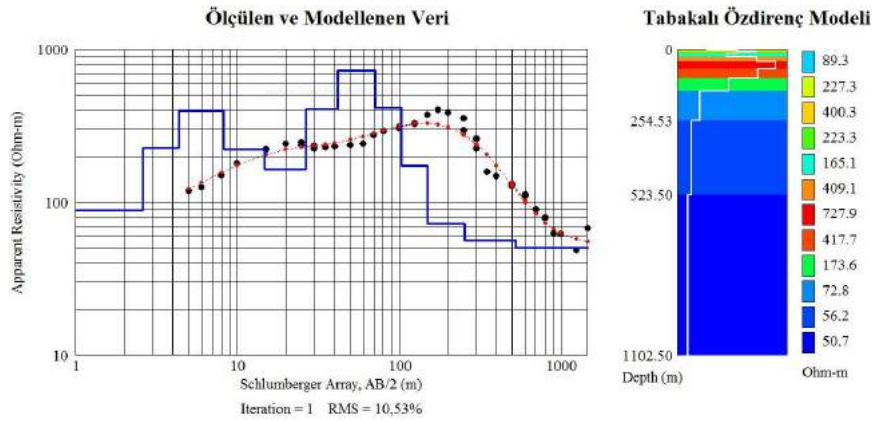
P-3 profili, çalışma alanının güneybatı kesiminde yer alan KB-GD yönlü bir profildir (Şekil 3 ve 18). Jeoelektrik ölçülerde yüksek öz dirençli temel, Paleozoyik yaşlı mermerler ve çeşitli şistler ile gnaylardan oluşan metamorfik kayalar ile denestirilmiştir. Temel birimler üzerinde yer alan birim, görsel kireçtaşları ve yer yer killi-marnlı birimlerden oluşan Neojen yaşlı Ulubey formasyonudur. Neojen yaşlı kayalar örtü kaya niteliğindedir. Öz direnç düşümleri, KB-GD yönlü faylarla taşınan jeotermal akışkanın Neojen birimlerde yarattığı iletkenlik olarak yorumlanmıştır (Şekil 19 ve 20).



Şekil 18. P-3 profilinin yer-elektrik kesiti ve jeolojik yorumu



Şekil 19. DES6 noktası öz direnç eğrisi ve değerlendirme sonuçları. DES-6 eğrisinde, yüzeyden 700 m derinliğe kadar örtü kaya görülmektedir (rezistivite değeri 50 - 250 ohm.m). Daha sonra, 700 - 900 m derinlikte fay zonu görülmektedir. Bu zon aynı zamanda temel kaya - hazne kayadır (Rezistivite eğrisine göre esas temel değildir). Fay zonunun oluşturduğu ezilmeye birlikte gelişen alterasyon nedeniyle ve jeotermal akışkanın da etkisiyle rezistivite değeri 1000 - 1500 m derinlikte tekrar düşmekte (35 - 49 ohm.m) ve 1500 m'den sonra rezistivite değerleri yükselerek mermer, şist, gnays, kuvarsit şist ve mikaşit içeren Paleozoyik yaşlı formasyon ile denestirilen elektriki temeli göstermektedir.



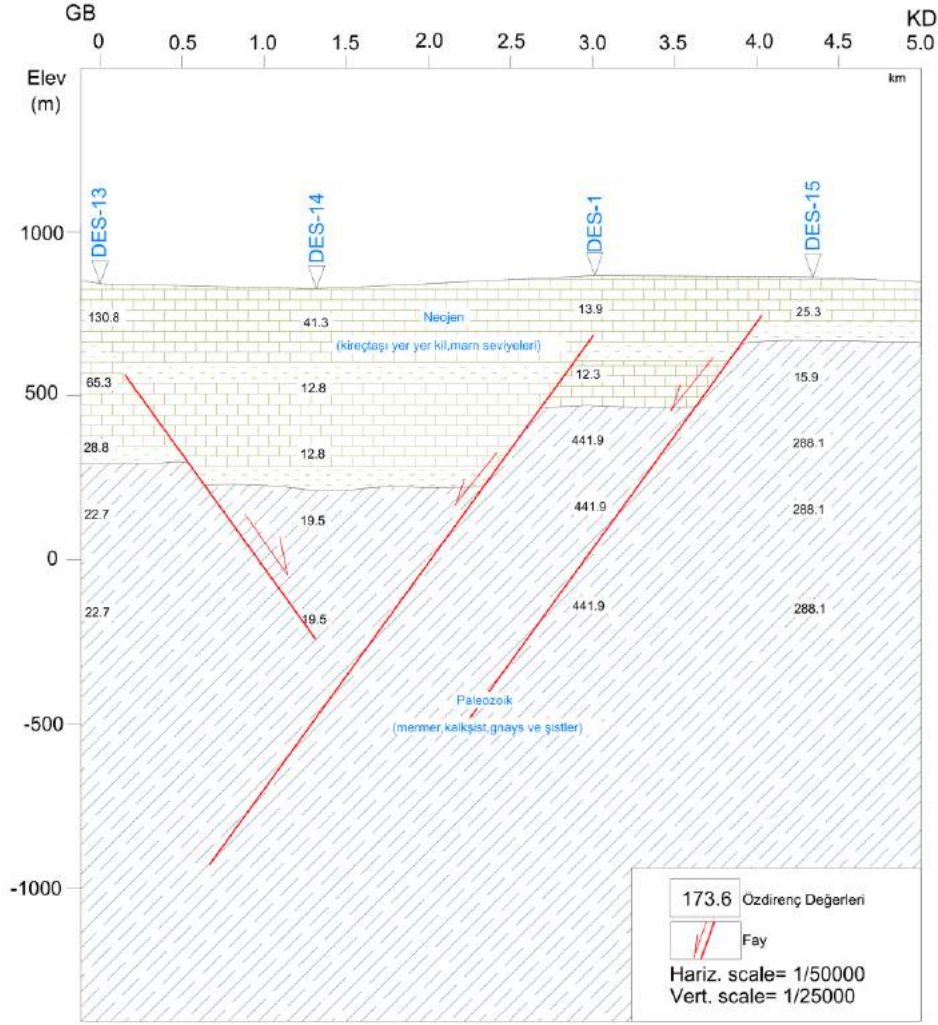
Şekil 20. DES4 noktası öz direnç eğrisi ve değerlendirme sonuçları. DES-4 eğrisinde, yüzeyden 600 m derinliğe kadar örtü kaya görülmektedir (rezistivite değeri 100 - 250 ohm.m). Daha sonra, 600 - 800 m derinlikte fay zonu görülmektedir. Bu zon aynı zamanda temel kaya - hazne kayadır (Rezistivite eğrisine göre esas temel değildir). Fay zonunun oluşturduğu ezilmeye birlikte gelişen alterasyon nedeniyle ve jeotermal akışkanın da etkisiyle rezistivite değeri 800 - 1000 m derinlikte tekrar düşmekte (48 - 79 ohm.m) ve 1000 m'den sonra rezistivite değerleri yükselerek mermer, şist, gnays, kuvarsit şist ve mikaşit içeren Paleozoyik yaşlı formasyon ile denestirilen elektriki temeli göstermektedir.

#### P-4 Profili Görünür Öz direnç ve Yer-elektrik Yapı Kesiti

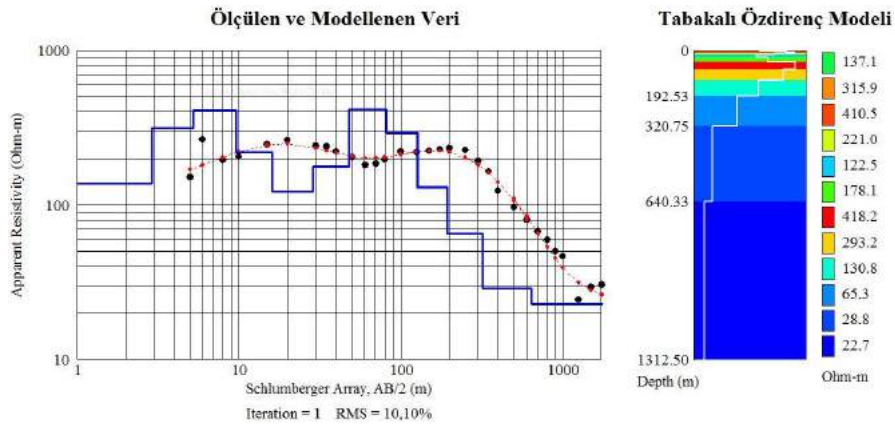
P-4 profili, çalışma alanının kuzeybatı kesiminde yer alan KD-GB yönlü bir profildir (Şekil 3 ve 21). Jeoelektrik ölçülerde yüksek öz dirençli temel, Paleozoyik yaşlı mermerler ve çeşitli şistler ile gnaylardan oluşan metamorfik kayalar ile denestirilmiştir. Temel üzerinde yer alan birim, gölsel kireçtaşları ve yer yer killi-marnlı birimlerden oluşan Neojen yaşlı Ulubey formasyonudur. Neojen yaşlı kayalar örtü kaya niteliğindedir. Öz direnç değerleri, formasyonların genel yapısına uygun değerlerdir (Şekil 22-25).



Profil 4

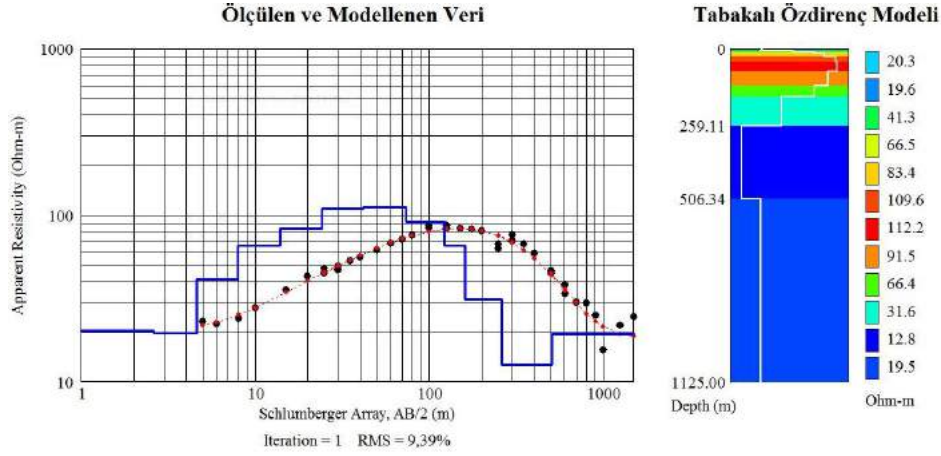


Şekil 21. P-4 profilinin yer-elektrik kesiti ve jeolojik yorumu

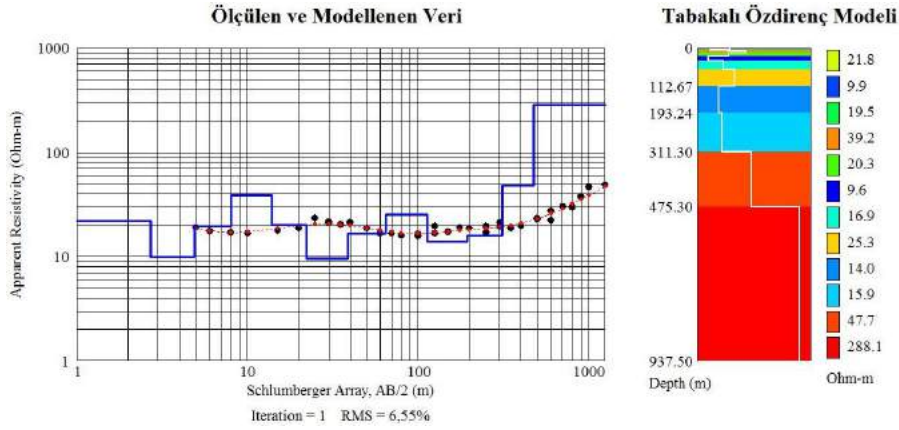


Şekil 22. DES13 noktası özdirenç eğrisinin değerlendirilmesi. DES-13 eğrisinde, yüzeyden 700 m derinliğe kadar örtü kaya görülmektedir (rezistivite değeri 79 - 235 ohm.m). Daha sonra, 700 - 900 m derinlikte fay zonu görülmektedir. Bu zon aynı zamanda temel kaya - hazne kayadır (Rezistivite eğrisine göre esas temel değildir). Fay zonunun oluşturduğu ezilmeye birlikte gelişen alterasyon nedeniyle ve jeotermal akışkanın da etkisiyle rezistivite değeri 1000 - 1200 m derinlikte tekrar düşmekte (25 - 30 ohm.m) ve 1200 m'den sonra rezistivite değerleri yükselerek mermer, şist, gnays, kuvarsit şist ve mikaşit içeren Paleozoik yaşlı formasyon ile denetlenen elektriki temeli göstermektedir.





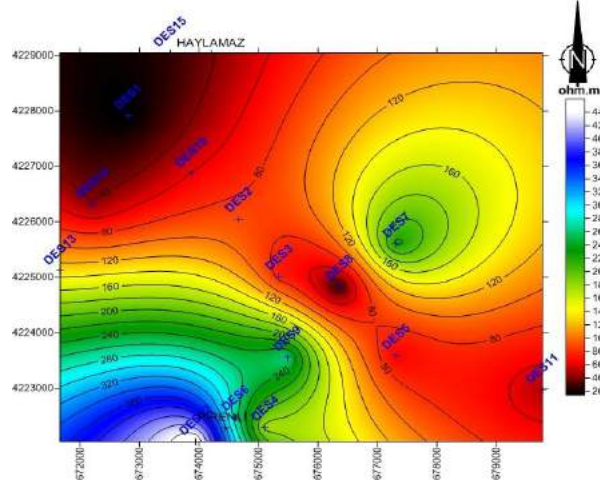
Şekil 23. DES14 noktası öz direnç eğrisinin değerlendirilmesi. DES-14 eğrisinde, yüzeyden 700 m derinliğe kadar örtü kaya görülmektedir (rezistivite değeri 24 - 88 ohm.m). Daha sonra, 700 - 850 m derinlikte fay zonu görülmektedir. Bu zon aynı zamanda temel kaya - hazne kayadır (Rezistivite eğrisine göre esas temel değildir). Fay zonunun oluşturduğu ezilmeye birlikte gelişen alterasyon nedeniyle ve jeotermal akışkanın da etkisiyle rezistivite değeri 900 - 1050 m derinlikte tekrar düşmekte (15 - 25 ohm.m) ve 1100 m'den sonra rezistivite değerleri yükselerek mermer, şist, gnays, kuvarşist şist ve mikaşist içeren Paleozoyik yaşlı formasyon ile denestirilen elektriki temeli göstermektedir.



Şekil 24. DES15 noktası öz direnç eğrisinin değerlendirilmesi. DES-15 eğrisinde, yüzeyden 300 m derinliğe kadar örtü kaya görülmektedir (rezistivite değeri 15 - 20 ohm.m). Bu derinlikten sonra rezistivite değerleri yükselerek mermer, şist, gnays, kuvarşist şist ve mikaşist içeren Paleozoyik yaşlı formasyon ile denestirilen elektriki temeli göstermektedir.

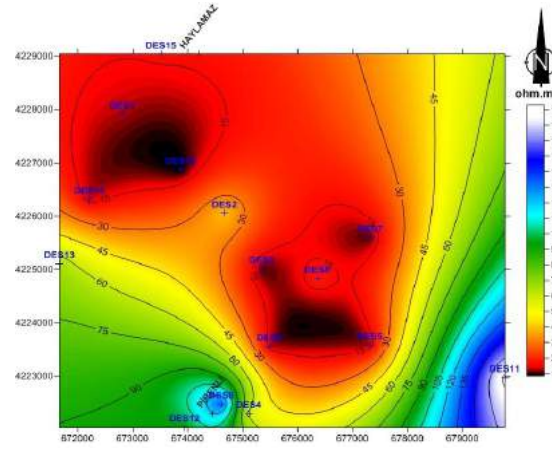
### 2.1.2. Görünür öz direnç seviye ve taban topoğrafyası haritaları

Seviye haritaları, jeotermal akışkan yayılımının derinlikle olan ilişkisinin açıklanması anlamında önem arz eder. Seviye ve taban topoğrafya haritalarındaki uyum, sondaj yerinin tespitinde hatanın minimize edilmesi anlamını taşır. Faya bağlı olarak oluşan öz direnç düşümleri, akışkandan kaynaklanır. Seviye haritalarının öz direnç dağılımının derinlikle değişimini göstermesi nedeniyle, çalışma alanı için 6 seviyedeki öz direnç dağılım haritaları hazırlanmıştır. Hazırlanan öz direnç seviye haritaları, DES ölçümlerinin değerlendirilmesi ile bulunan yer-elektrik katmanların öz direnç değerlerinin 100, 300, 500, 700, 1000 ve 1250 m derinliklerdeki dağılımlarını göstermektedir. Seviye haritalarındaki 700 ve 1000 m seviyelerindeki görünür öz direnç dağılımı, taban topoğrafya haritası ile uyumludur. Miyosen-Pliyosen yaşlı birimlerin öz direnç değerlerinin temel birimlerden daha düşük olması gerekir. Çalışma alanı, KD'ya doğru derinleşmesine rağmen öz direnç düşümü G-GB yönünde yoğunlaşmaktadır. Bu etki, faylanmalara bağlı jeotermal aktiviteden kaynaklanabilir. Jeotermal akışkan, sıcaklığı ve mineralli yapısı nedeniyle bulunduğu ortamın öz direncini düşürücü bir özelliğe sahiptir. Çalışma alanında Neojen örtünün kalınlığı, 165 ile 710 m arasındadır. Seviye haritalarında görülen öz direnç düşümleri, faylanma ve olası jeotermal etkinin öz direnç değerlerine yansımaları olarak yorumlanmıştır. Öz direnç seviye haritalarında, bu seviyelerin 100, 300, 500, 700, 1000 ve 1250 m derinliklerdeki yayılımları izlenerek çalışma alanındaki jeotermal sistemin yanal ve düşey yöndeki takibi yapılmıştır. 100 m seviyesinde, öz direnç değerleri 20 - 500 ohm.m arasında değişmektedir. Bu seviyelerde tamamen Neojen örtü bulunmaktadır. Rezistivite değerindeki düşümler, faylar ve soğuk yeraltı suyundan kaynaklanmaktadır (Şekil 25).



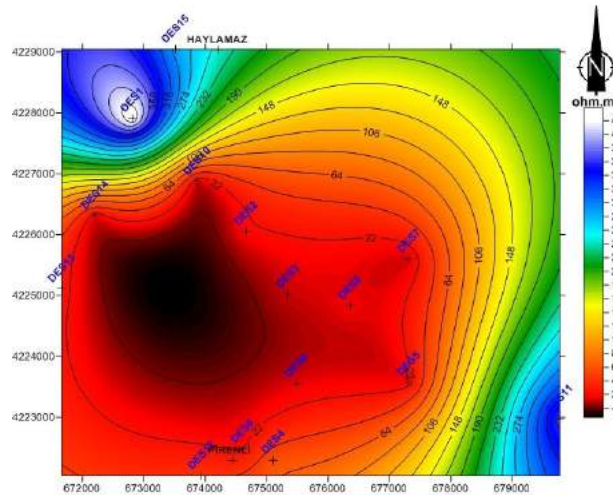
Şekil 25.  $AB/2 = 100$  m özdirenç seviye haritası

300 m seviyesinde, özdirenç değerleri 10 - 180 ohm.m arasında değişmektedir. Bu seviyedeki özdirenç değerleri Neojen örtü birimlerini ifade etmektedir. Sadece, DES-11 noktasında bu seviyelerde Palezoik yaşlı temel birime girildiği görülmektedir (Şekil 26).

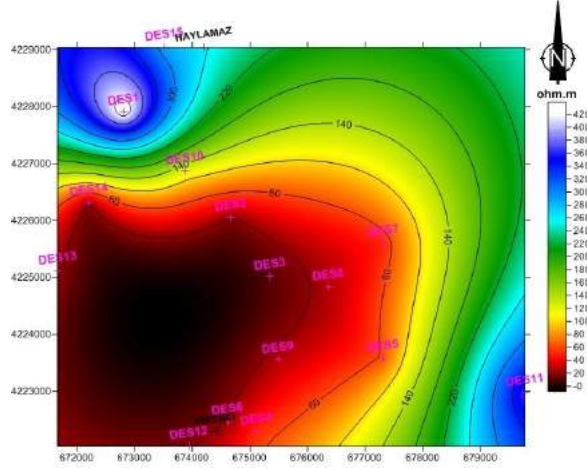


Şekil 26.  $AB/2 = 300$  m özdirenç seviye haritası

500 - 700 m seviyelerinde, özdirenç değerleri 10 - 420 ohm.m arasında değişmektedir. Bu seviyedeki özdirenç değerleri Neojen örtü birimlerini ifade etmektedir. Sadece, DES-1 ve DES-11 noktalarındaki bu seviyelerde Palezoik yaşlı temel birime girildiği görülmektedir. Eş özdirenç eğrileri, KD-GB yönelimlidir. Eğri sıklaşmalarının görüldüğü bölgeler, aynı yönlü tektonik hatlar ve bu hatların arasında kalan bölge de bir çukurlaşma yapısı görünümündedir (Şekil 27 ve 28).

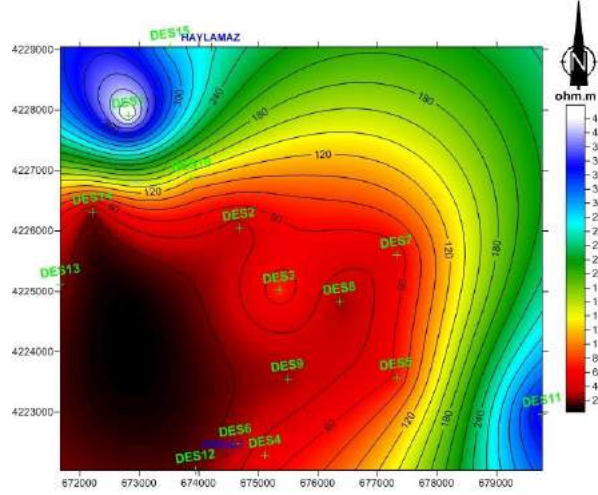


Şekil 27.  $AB/2 = 500$  m özdirenç seviye haritası



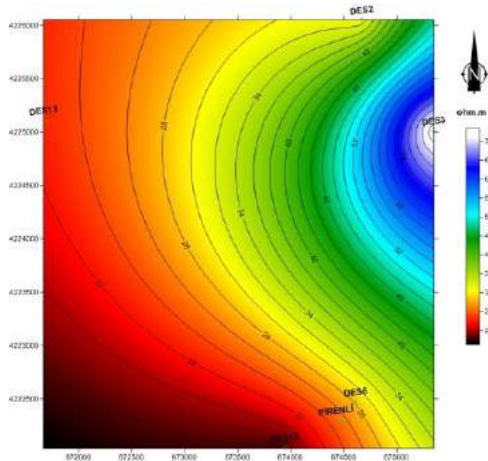
Şekil 28.  $AB/2 = 700$  m özdirenç seviye haritası

1000 m seviyesinde, özdirençler 20-440 ohm.m arasında değişmektedir. Bu seviyedeki özdirenç değerlerindeki düşüşler, fay zonundan ve jeotermal akışkan etkisinden kaynaklanmaktadır. Eş özdirenç eğrileri, KB-GD yönelimlidir. Eğri sıklaşmalarının görüldüğü bölgeler, aynı yönlü tektonik hatları ifade etmektedir. Özdirenç değerlerinin, tektonizmanın ve jeotermal akışkanın etkisiyle GB yönünde düştüğü görülmektedir (Şekil 29).



Şekil 29.  $AB/2 = 1000$  m özdirenç seviye haritası

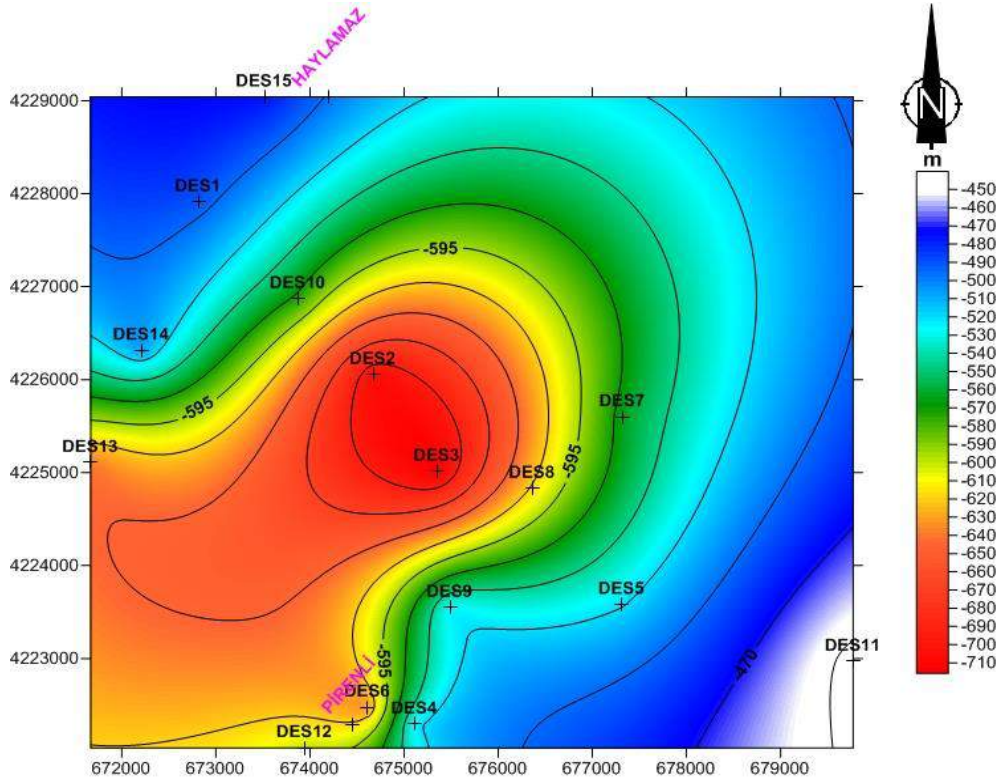
1250 m seviyelerinde, özdirençler 20-70 ohm.m arasında değişmektedir. DES13 ile DES6 noktaları arasında görülen KB-GD yönlü eş özdirenç eğrileri, aynı yönlü tektonik hatları ifade etmektedir. DES12 noktasına doğru (GB yönünde) özdirençler giderek daha düşük değerler almaktadır. Bu durum, mevcut tektonizmanın getirdiği jeotermal etki olarak yorumlanmıştır (Şekil 30).



Şekil 30.  $AB/2 = 1250$  m özdirenç seviye haritası



Taban topoğrafyası haritaları, DES eğrilerinden hesaplanan rezervuar kayaca giriş derinliği ile DES eğrisinin elde edildiği noktanın kotu arasındaki fark alınarak hesaplanır. Saha genelinde, tüm noktalarda bu hesap yapılarak hesaplanan rezervuar giriş derinlikleri DES ölçü noktasına yazılır ve eş derinlik eğrileri çizilerek harita hazırlanır. Taban topoğrafyası haritalarındaki eğri sıklığı, bir fayı işaret eder. Eğrilerin uzanım doğrultuları da, fayın doğrultusunu verir. Özdirenç değerlerindeki düşümün, taban topoğrafyası haritasında tespit edilen faylarla ilişkili olması gerekir. Bunun aksi durumdaki özdirenç düşümleri kayaların litolojik özelliklerinden kaynaklanır. Bu anlamda, taban topoğrafyası haritalarının oluşturulması, sahanın genel tektonik yapısının ortaya konulmasında vazgeçilmez bir araçtır. Çalışma alanı için hazırlanan taban topoğrafyası haritası, Paleozoyik yaşlı temel birimlerine giriş derinliğini göstermektedir. Haritadaki eğri dağılımı, KD-GB doğrultusunda uzanmaktadır. Bu durum, sahanın genel tektonik yapısını oluşturan graben faylarının doğrultusu hakkında bilgi vermektedir. Eğri sıklığı faya işaret etmekte ve dağılımı da fayın doğrultusunu göstermektedir. Taban topoğrafyası haritası incelendiğinde, Neojen birimlerin kalınlığının KD-GB yönünde kalınlaştığı, KB-GD yönünde azaldığı görülmektedir. Neojen birimlerin kalınlığı, KD-GB yönünde 470 - 710 m, GD-KB yönünde ise 150 - 500 m civarındadır. Sahadaki bu yapının oluşumu, yaklaşık doğrultuları KD-GB ve KB-GD yönlü olan faylar ile açıklanmıştır (Şekil 31).

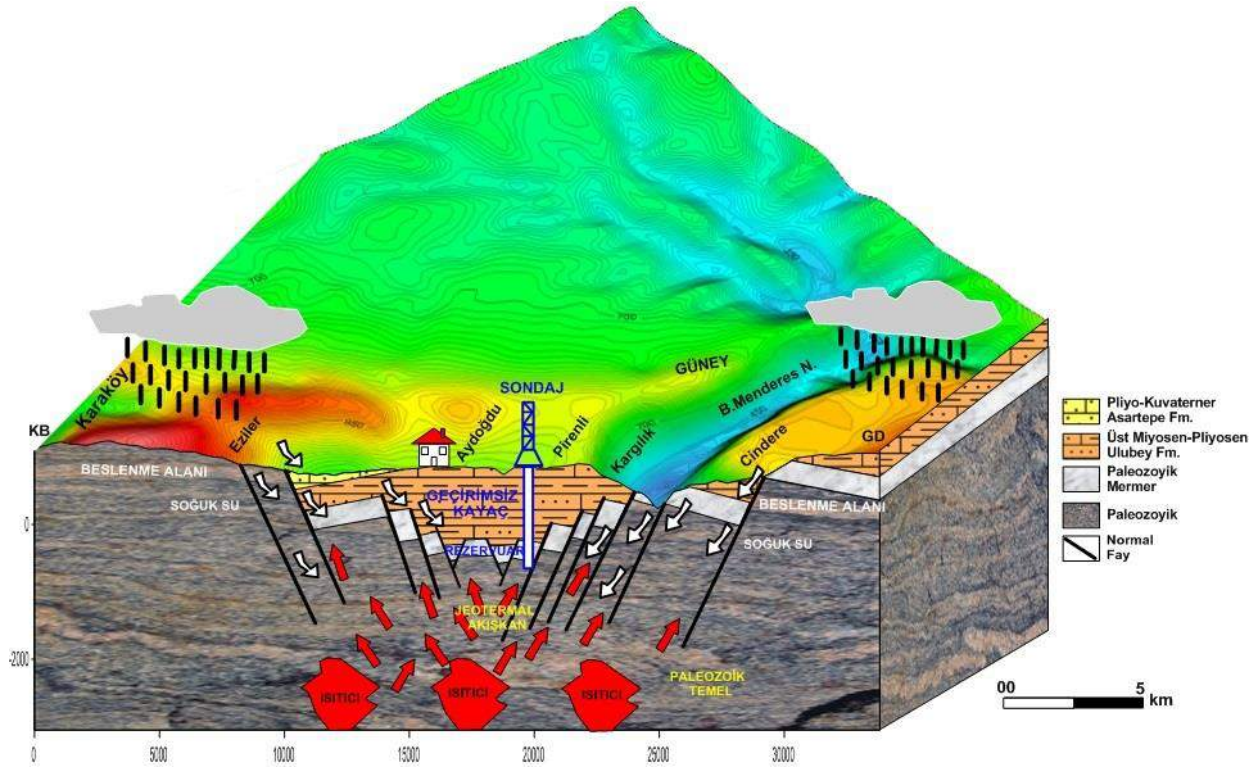


Şekil 31. Taban topoğrafyası haritası

## 2.2. Kavramsal Jeotermal Model

Çalışma alanının yakın çevresinde, birçok sıcak su kaynağı ve jeotermal sondaj kuyuları mevcuttur (Şekil 2). En yakın olan sondaj kuyuları ve sıcak su kaynakları üzerine değerlendirmeler yapılmıştır. Mevcut kaynak, kuyu verileri ve arazi gözlemleri birleştirilerek jeotermal sistem hakkında yoruma gidilmiştir. Gölemezli jeotermal alanı sondaj verilerine göre, Neojen birimin kalınlığı 600 m'dir ve kaynak ve sondajların KD-GB, KB-GD faylarının kesişme noktalarında yoğunlaştığı görülür. Gölemezli'de, 597 m derinlikteki DG-2 kuyusunun akışkan sıcaklığı 73 °C ve debisi ise 140 lt/s'dir. Aynı alanda, DG-1 kuyusunun derinliği 1500 m olduğu halde, akışkan sıcaklığı 88 °C, debi ise 15 lt/s'dir. Kamara kaplıcasındaki kaynak sıcaklığı 36 °C, Yenice jeotermal alanındaki 54 m derinlikteki YK-1 kuyusunun akışkan sıcaklığı 57 °C ve debisi 20 lt/s'dir. 238 m derinlikteki YK-2 kuyusunda akışkan sıcaklığı 67 °C ve debisi 140 lt/s ve 250 m derinlikteki YK-3 kuyusunun akışkan sıcaklığı 36 °C ve debisi 4 lt/s'dir. Bu veriler birlikte değerlendirildiğinde, jeotermal sistemin faylar tarafından kontrol edildiği anlaşılmaktadır. Değişik yönlü fayların kesişme noktalarında jeotermal rezervuarlar daha iyi gelişmiş, faylardan uzaklaştıkça jeotermal rezervuarları bulmak mümkün olamamıştır. Şöyle ki, Gölemezli'deki 1500 m ve Kamara'daki 250 m derinlikteki sondajlar, fay kontrollü olmadığı için, hem sıcaklıkları hem de debileri düşüktür. Yenice'deki 54 m ile 238 m derinlikteki sondajlardan çıkan jeotermal akışkanın sıcaklıkları incelendiğinde, bölgede jeotermal gradyanın 5,5 °C/100 m olduğu anlaşılmaktadır.

KB-GD ve KD-GB doğrultulu fayların kontrol ettiği, Orta Miyosen öncesi yapı ile genç tektonik yapının yer yer uyumlu olduğu, sahanın güneybatısında daha genç tektoniğin etkin olduğu görülmektedir. Kamara ve Yenice bölgesinde oluşan jeotermal kaynaklar, fay sistemleri ile kontrol edilen kaynaklardır. Isı kaynağı ise, tüm Batı Anadolu için düşünüldüğü gibi kıta kabuğu içerisine sokulan magmatik kayalardır. Beslenme, bölgedeki yükselteleri sınırlayan faylardan meteorik beslenme şeklinde gerçekleşmektedir. Menderes Masifi'ne ait metamorfiklerin, faylanmanın etkisi ile kırıklı-çatlaklı bir yapı kazandığı bölgeler, rezervuar kaya olarak değerlendirilmiştir. Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı çökeller örtü kayadır. Jeotermal sistem, gömülü faylar tarafından kontrol edilmektedir (Şekil 32).



Şekil 32. Çalışma alanının kavramsal jeotermal modeli

### 3. Sonuç

DES ölçülerinde yüksek özdirençli temel, Paleozoyik yaşlı mermerler ve çeşitli şistler ile gnayslardan oluşan metamorfik kayalardır. Yüksek özdirençli temel üzerinde, düşük özdirençli yer alan birim, gösel kireçtaşları ve yer yer killi-marnlı birimlerden oluşan Neojen yaşlı Ulubey formasyonudur. Neojen yaşlı kayalar, örtü kaya niteliğindedir. Özdirenç değerleri, formasyonların genel yapısına uygun değerlerdir. Özdirenç düşümleri, KB-GD ve KD-GB yönlü faylarla taşınan jeotermal akışkanın Neojen ve metamorfik birimlerde yarattığı iletkenlik olarak yorumlanmıştır. Seviye haritalarındaki 700 ve 1000 m seviyelerindeki görünür özdirenç dağılımı, taban topoğrafyası haritasıyla uyum içerisindedir. Miyosen-Pliyosen birimlerinin özdirenç değerlerinin temel birimlerden daha düşük olması gerekir. Çalışma alanı KD'ya doğru derinleşmesine rağmen, özdirenç düşümü çalışma alanının G-GB'sında yoğunlaşmıştır. Bu etki faylanmalara bağlı jeotermal aktiviteden kaynaklanmaktadır. Çünkü, jeotermal akışkan sıcaklığı ve mineralli yapısı nedeniyle, bulunduğu ortamın özdirençini düşürücü bir özelliğe sahiptir. Seviye haritalarında görülen özdirenç düşümleri, faylanma ve olası jeotermal etkinin özdirenç değerlerine yansımaları olarak yorumlanmıştır. Buharın hakim olduğu jeotermal rezervuarlarda yapılan özdirenç araştırmaları, bu tip rezervuarların görece olarak sıvının hakim olduğu rezervuarlara göre daha yüksek özdirenç değerleri sergilediğini ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, çalışma alanındaki sıvının hakim olduğu sistemlere oranla göreceli olarak yüksek olan özdirenç değerinin, buharın hakim olduğu bir jeotermal sistemi işaret ettiği düşünülmektedir. Taban topoğrafyası haritasında, Neojen birimlerin kalınlığının KD-GB yönlerinde kalınlaştığı, KB-GD yönünde azaldığı saptanmıştır. Neojen birimlerin kalınlığı, KD-GB yönlerinde 470 - 710 m, GD-KB da ise 150 - 500 m civarındadır. Çalışma alanında bu yapı, yaklaşık doğrultuları KD-GB ve KB-GD yönlü olan faylar varlığı ile açıklanabilir.

### Kaynakça

- Bülbül, M., 2005. Güney (Denizli) Dolayındaki Neojen Karbonatlarının Fasiyes İncelemesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 82 s.
- Haklıdır T.F.S., Uzun, A. and Şengün, R., 2012. Investigation of reservoir characteristics of high enthalpy geothermal fields on Büyük Menderes Graben and sulphate variations of geothermal fluids in the graben. Proceedings of International Earth Science Colloquium on the Aegean Region (IESCA), Dokuz Eylül University, İzmir, Turkey. 1-5 October 2012
- Haklıdır T.F.S., 2017. Batı Anadolu'da yüksek sıcaklıklı jeotermal sistemlerde gözlenen kabuklaşma türleri ve kabuklaşma oluşumunun kontrolünün sağlanmasında kullanılan sistemler; Kızıldere-II (Denizli) jeotermal güç santrali örneği. Türkiye Jeoloji Bülteni, 60, 363-382
- MTA, 2005. Türkiye Jeotermal Kaynaklar Envanteri. Envanter Serisi: 201, 849 s.





# Mersin Körfezi'nden Yakalanan *Apogon queketti* Kas Dokusu Metal Seviyelerine Mevsimin Etkisi

Yılmaz Uçar<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Ordu Üniversitesi, Fatsa Deniz Bilimleri Fakültesi, Fatsa, Ordu, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6770-6652)

(İlk Geliş Tarihi 1 Aralık 2019 ve Kabul Tarihi 31 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.657647)

**ATIF/REFERENCE:** Uçar, Y. (2019). Mersin Körfezi'nden Yakalanan *Apogon queketti* Kas Dokusu Metal Seviyelerine Mevsimin Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1215-1221.

## Öz

Su ürünleri insanlar için besleyici bir besin olmalarının yanı sıra içeriklerindeki aşırı metal birikimleri ile de tehlikeli olabilmektedirler. Bu çalışmada Kuzeydoğu Akdeniz'den (Mersin Körfezi) avlanan *Apogon queketti* türünün metal düzeyleri mevsimsel olarak araştırılmıştır. Ayrıca *Apogon queketti* tüketiminin tüketici sağlığı açısından olası risklerini öngörebilmek amacıyla haftada 1, 3 ve 7 gün tüketim durumlarında yetişkin ve çocuklarda kapsamlı risk değerlendirme (EWI, THQ, TTHQ, CRi) hesaplamaları yapılmıştır. Bulgular, Türk Gıda Kodeksi ve dünya çapında geçerli olan diğer kodeksler kapsamında değerlendirilmiştir. Çalışma sonunda elde edilen bulgular Mersin Körfezi'nde yakalanan *A. queketti* türünün macro elementler ve iz elementler açısından besleyici düzeyinin yüksek olduğunu ancak Cd ve As düzeyleri açısından insan sağlığı için potansiyel toksisite gösterebileceğini ortaya çıkarmıştır. Ayrıca metal düzeylerinin mevsimsel açıdan farklılıklar gösterdiği tespit edilmiştir. Mevcut çalışmada incelenen tüm örneklerde EWI değerleri PTWI değerlerinin altında bulunmuştur. THQ<1 (çocuklar için haftada 7 gün tüketildiğinde iAs değeri haricinde) olarak belirlenmiştir. Çocuklarda 3 günlük tüketim neticesinde TTHQ'nun 1'e yakın olması nedeniyle dikkat edilmesi gerekmektedir. Yetişkinlerdeki As elementinin THQ değerinin (0.9051) tehlike limite yakın olması nedeniyle 7 günlük tüketim sonrası TTHQ değeri >1 olarak bulunmuştur. Pb düzeylerinin tüketiciler için kanserojen risk düzeylerinin düşük olduğu tespit edilmiştir. CRi<sub>Cd</sub> değeri 3 ve 7 günlük tüketimlerde çocuklar için riskli olurken yetişkinler için 7 günlük tüketim sonucu risk oluşturmaktadır. CRi<sub>As</sub> değerleri ise yetişkinlerde 1 günlük alım sonrası risk oluşturmazken diğer tüm tespit edilen alım günlerinde her iki grup için risk oluşturduğu gözlenmiştir. Her ne kadar şuan ciddi bir ekonomik değere ve tüketim oranına sahip olmasa da, *A.queketti* zengin makro ve iz element içeriğine sahiptir. Haftalık tahmini alım oranları açısından yoğun tüketilmedikçe tüketici sağlığına yönelik olumsuz bir etkisi olmayacağı belirlenmiştir. Çalışma sonucu elde edilen bulgular ışığında *Apogon queketti* kas dokusu metal seviyelerinin hayvan veya insan beslenmesi için sağlıklı bir diyet bileşeni olarak kabul edilebileceği sonucuna varılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** *Apogon queketti*, Mevsim, Risk düzeyleri, Metal, Mersin Körfezi

## The Effects of Season on Muscle Tissue Metal Levels of *Apogon queketti* Caught from Mersin Bay

### Abstract

In addition to being a nutritious nutrient for human beings, seafood can also be dangerous with excessive metal accumulation. In this study, the metal levels of *Apogon queketti* species caught in the Northeast Mediterranean (Mersin Bay) were seasonally investigated. Besides, comprehensive risk estimation (EWI, THQ, TTHQ, CR) calculations were performed in adult and children in case of consumption of 1, 3 and 7 days a week in order to determine the possible health risks of *A. queketti* consumption. The findings were evaluated within the scope of Turkish Food Codex and other codexes valid worldwide. At the end of the study, *A. queketti* muscle was found to have high nutrient levels in terms of macro and trace elements but it could show potential toxicity for human health in terms of Cd and As levels. In addition, it was found that the metal levels differed in terms of seasonal factors. EWI values in all samples were found to be below the PTWI values. THQ was found as <1 (except for iAs values for children when exposure time 7 days/week). People should be attention the fact that TTHQ is close to 1 as a result of exposure time 3 days/week for children. The THQ value (0.9051) of As element for adults was close to the limit of danger. As the THQ (0.9051) of As element is close to the danger limit, after exposure time 3 days/week for adults, the TTHQ value was found to be >1. Pb levels were found to be low carcinogenic risk levels for consumers. CRi<sub>Cd</sub> value is risky for children in 3 and 7 days of intake, while it poses a risk for adults after 7 days of intake.

\* Sorumlu Yazar: Ordu Üniversitesi, Fatsa Deniz Bilimleri Fakültesi, Fatsa, Ordu, Türkiye, ORCID: 0000-0002-6770-6652, [yucar@cu.edu.tr](mailto:yucar@cu.edu.tr)

CRI<sub>As</sub> values did not pose any risk for adults after 1 day of intake, but it posed a risk for both groups on all other identified intake days. Although it does not currently have a significant economic value and consumption rate, *A.queketti* has a rich macro and trace element content. It is determined that it will not have a negative impact on consumer health unless it is consumed intensively in terms of estimated weekly purchase rates. It can be concluded that metal levels of Apogon queketti should be regarded as a healthy diet component for animal or human nutrition.

**Keywords:** Apogon queketti, Season, Risk levels, Metal, Mersin Bay

## 1. Giriş

Gelişmiş ülkelerde endüstriyel faaliyetler yoğun olmasına rağmen, hükümet kontrolleri oldukça sıkı tutularak metal kontaminasyonlarının insanlar üzerine etkileri azaltılmaya çalışılmaktadır. Ancak genel bir kanı olarak denizler kirliliği kompanse edici bir sistem olarak görülmektedir. Bu durum özellikle denizel ekosistemlerdeki metal kontaminasyonlarını dramatik düzeylere ulaştırmıştır. Metal kirliliğindeki bu yaygınlaşma deniz ekosistemleri ve su ürünlerindeki metal düzeylerine yönelik çalışmaların artışına neden olmuştur.

Doğal habitatlarından toplanan canlıların metal konsantrasyonlarının araştırılması; antropojenik etkilerle ortaya çıkan ekosistem kirliliğinin izlenmesi açısından önem arz etmekle birlikte, su ürünlerinin metal düzeylerinin belirlenmesi ayrıca insan sağlığı açısından olası risklerin anlaşılması için de önemli bir göstergedir. Çünkü özelde demersal türler, genelde de tüm denizel türler vücutlarında yararlı elementlerin yanı sıra toksik metallerin de birikimini sağlayabilmektedir. Bu durum tüketici sağlığı açısından risk potansiyeli yaratabilmektedir.

Deniz ekosistemlerinde yaşayan türlerin makro elementleri, iz elementleri ve toksik ağır metal seviyeleri, türlerin yaşadığı ekosistemin inorganik döngüsünün anlaşılmasına katkıda bulunur. Ayrıca, halk sağlığı açısından ticari su ürünlerinde bu metallerin birikimlerinin araştırılması önemlidir. Su ürünleri, değerli besleyici bileşenlere sahip olduğundan insan ve hayvan diyetleri için çok önemlidir. Bu önemin giderek artmasıyla birlikte ekonomik değeri olan su ürünlerinin yanı sıra lesepseyen türler de giderek önemli hale gelmeye başlamıştır.

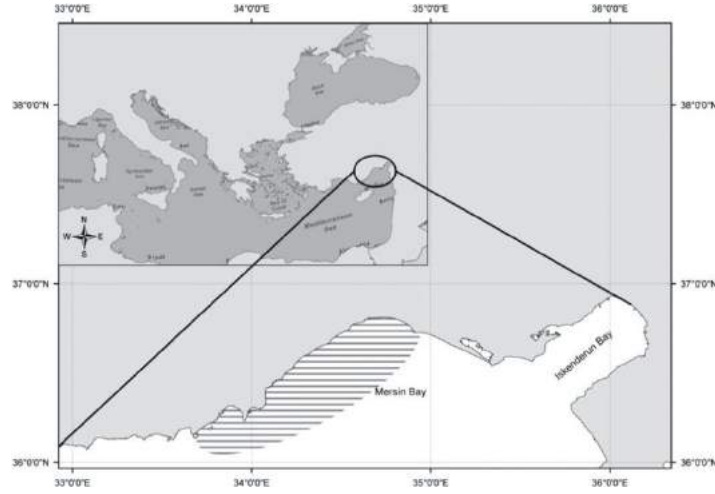
Lesepseyen türler olarak tanımlanan ve Süveyş Kanalı aracılığıyla sularımıza giren bu canlılardan Kızıldeniz'de 12 cins ve 54 apogonid türü olduğu bildirilmektedir (Akyol ve Ünal, 2014). *Apogon queketti*, batı Hint Okyanusu, güney Kızıldeniz ve Arap Denizi, Basra Körfezi ve Hindistan ve Natal, Güney Afrika'dan Mozambik'e kadar yaygındır (Smith, 1965; Golani vd., 2002; Froese ve Pauly, 2014). İlk olarak 2004 yılında Akdeniz Bölgesi'nde (Doğu Akdeniz) Eryılmaz ve Dalyan (2006) tarafından bildirilen *Apogon queketti*, Hint-Pasifik kökenli kardinal balıklar grubunda yer almaktadır. Bu tür ayrıca, Türkiye'nin Levantine kıyıları İskenderun Körfezi'nden, 20-60 m derinlikte ve Akdeniz'in İsrail kıyılarında 58-63 m derinlikte kaydedilmiştir. Bu lesepseyen balık türü Mersin Körfezi'nde de görülmeye başlanmıştır.

Demersal bir tür olan *Apogon queketti*, istilacı türler arasındadır. Bu nedenle, bu lesepseyen türlerin ekonomiye kazandırılması açısından beslenme potansiyellerinin ortaya çıkarılması gerekmektedir. Tamamlayıcı besin öğeleri olarak da tanımlanan metal seviyelerinin araştırılması hem insan sağlığı hem de su ürünlerinin besin seviyelerinin belirlenmesi için gereklidir. Spesifik olarak demersal canlılar ve genellikle bütün sucul canlılar vücutlarında faydalı elementlerin yanı sıra toksik elementler biriktirebilirler. Bu durum tüketici sağlığı için risk potansiyeli yaratabilir. Bu bağlamda, metal seviyelerini ve tüketiciler için olası riskleri araştıran birçok çalışma vardır. Bununla birlikte, bu çalışmalar genellikle yüksek ticari türlere odaklanmıştır. Bu çalışmada, mevsimsel olarak *Apogon queketti* kasının metal seviyeleri araştırılmış ve metal seviyelerinin tüketicilere olası bazı riskleri değerlendirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Örnek Temini ve Metal Analizleri

*Apogon queketti* örnekleme Berdan Nehri (36° 43' 31.8" N 34° 54' 27.0" E) ile Yeşilovacık Körfezi (36° 08' 53.6" N 33° 39' 40.7" E) (Şekil 1) arasında ticari balıkçı teknesi kullanılarak yapılmıştır. Örnekleme, 2018 ve 2019 yıllarında dört mevsim olacak şekilde gerçekleştirilmiş ve her bir tür için yeterli miktarda balık numunesi elde edilmiştir. Avlanan örneklerin kas dokularındaki metal içeriklerinin mevsimsel farklılıkları Canlı ve Atlı (2003) tarafından uygulanan yaş yakma yöntemine göre yapılmıştır. Kas dokularındaki metal düzeyleri İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi (ICP-MS) ile tespit edilmiştir. Çalışmada magnezyum (Mg), fosfor (P), potasyum (K), mangan (Mn), demir (Fe), alüminyum (Al), bakır (Cu), çinko (Zn), selenyum (Se), kadmiyum (Cd), kurşun (Pb) ve arsenik (As) elementleri incelenmiştir.



Şekil 1. Örnekleme haritası

Metal analizleri, kuru örnekler üzerinden yapılmıştır. Ancak ICP-MS analizleri sonucunda elde edilen değerler, FAO, Türk Gıda Kodeksi ve AB tarafından belirlenen limit değerler ile karşılaştırabilmesi ve risk tahmin hesaplamalarının yapılabilmesi amacıyla nem içerikleri doğrultusunda dönüştürülmüştür.

## 2.2. Tüketici Sağlığı Risk Değerlendirmeleri

Kuzeydoğu Akdeniz'de *A. queketti* türünün tüketiminden kaynaklı olası tüketici risklerini belirlemek amacıyla haftada 1, 3 ve 7 gün tüketimi durumları için tahmini haftalık alım (EWI), hedef tehlike oranı (THQ) ve yaşam boyu kanser riski (CRi) değerleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar yetişkin ve çocuk tüketiciler için ayrı ayrı yapılmıştır. Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı (US EPA, 2000) tarafından bildirilen veriler doğrultusunda yetişkinler ve çocuklar için vücut ağırlıkları ve yaşam süreleri sırasıyla 70 kg-70 yıl ve 32 kg-7 yıl (US EPA, 2008) olarak kabul edilmiştir.

As hariç incelenen tüm metallerin ICP-MS analizleri sonucunda elde edilen değerleri doğrudan kullanılmıştır. Ancak As metali için farklı bir dönüşüm faktörü uygulanmıştır. As için risk faktörleri (EWI, THQ ve CR) inorganik arsenik (iAs) için hesaplanırken toksik formun toplam konsantrasyonun % 3'ü olduğu varsayılarak uygulanmıştır (EFSA, 2009; Andaloro vd., 2012; Copat vd., 2013; Traina vd., 2019).

EWI (Tahmini Haftalık Alım), US EPA (2000) tarafından belirlenen formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$EWI = (C_M \cdot CR) / BW$$

$C_M$ : kas dokularındaki metal konsantrasyonu; CR, tüketim oranını (haftada 5, 3 ve 1 gün/kişi tüketim oranları); BW ise tüketicinin vücut ağırlığını ifade etmektedir. CR değeri, FAOSTAT verileri kullanılarak belirlenmiştir. Buna göre Türkiye'deki balık tüketimi 16.82 g/kişi/gündür. Çalışmadan elde edilen EWI değerleri WHO/FAO ve EFSA tarafından belirlenen PTWI (provisional tolerable weekly intake) değerleri ile karşılaştırılmıştır.

THQ, metallerin referans dozu (RfD) ile metallere maruz kalma arasındaki oranın ifadesidir. THQ, metallerin kanserojen olmayan etkilerinin riskini ifade etmek için kullanılır. THQ değeri US EPA (2014, 2019) yöntemine göre hesaplanmıştır:

$$THQ = [(EF \cdot ED \cdot CR \cdot C_M) / (RfD \cdot BW \cdot AT)] \cdot 10^{-3}$$

EF: maruz kalma sıklığını ifade etmektedir, haftada 1, 3 ve 7 günlük tüketim için sırasıyla; yıllık 52, 156 ve 365 gün olarak kullanılmıştır. ED: maruz kalma süresini ifade etmektedir. Yetişkinleri için 70 yıl, çocuklar için 7 yıl olarak kullanılmıştır. RfD, oral referans dozu ifade etmektedir. RfD değerleri US EPA (2019) verilerine göre Fe, Cu, Zn, Mn, Se, Al, Cr, As, Cd ve Pb elementleri için sırasıyla 0.7, 0.04, 0.3, 0.14,  $5.10^{-3}$ , 1.00,  $3.10^{-3}$ ,  $3.10^{-4}$ ,  $1.10^{-3}$  ve  $4.10^{-3}$  olarak kullanılmıştır. AT, kanserojen olmayan ortalama süreyi ifade etmektedir, AT değeri; 356 gün/yıl x ED olarak hesaplanmıştır. CR, CM ve BW bir önceki formülde ifade edilmiştir.

İncelenen tüm elementlerin THQ değerlerinin toplamı ile TTHQ belirlenir.

$$TTHQ = THQ_{As} + THQ_{Al^{3+}} + \dots + THQ_n$$

THQ ve TTHQ değerlerinin >1 olması tüketici açısından kanserojen olmayan fakat sağlık problemleri ortaya çıkarabilecek olası risklerin olduğunun göstergesidir.

CRi hesaplamaları US EPA (2019)'a göre yapılmıştır. CRi, tüketim yoluyla metal kirliliğine maruz kalan insanlardaki kanser riskinin hesaplanmasında kullanılır.  $10^{-5}$  değerinin üzerinde CRi değerleri kanserojen riskinin daha yüksek olduğunun göstergesidir.

$$CRi = [(EF \cdot ED \cdot CR \cdot C_M \cdot CsF) / (BW \cdot AT)] \cdot 10^{-3}$$

CRi hesaplamalarında diğer formüllerden farklı olarak CsF (cancer slope factor) değeri kullanılmaktadır. CsF değerleri As, Pb, Cr ve Cd için sırasıyla 1.5, 8.5.  $10^{-3}$ , 0.5 ve 6.3 (US EPA, 2019) olarak kullanılmıştır.

## 2.3. İstatistiksel Analizler

Veriler, üç tekerrürlü olacak şekilde ortalama ve standart hata olarak hesaplanmıştır. Elde edilen veriler SPSS 15.0 istatistik paket programı kullanılarak varyans analizi (ANOVA) ile değerlendirilmiştir. İstatistiksel farklılıklar  $p < 0.05$  önem seviyesinde Duncan testi kullanılarak belirlenmiştir.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Balık Kası Metal Düzeyleri

ICP / MS analizi sonucu dört mevsim boyunca belirlenen *Apogon queketti* kas dokusunun metal düzeylerinin miktar ilişkileri Tablo 1'de gösterilmiştir. Bu türün kas dokusunda 13 metal belirlenmiş ve değerlendirilmiştir. *Apogon queketti* türünün metal seviyelerinin mevsime göre değiştiği ve istatistiksel olarak farklılıklar gözlemlendiği tespit edilmiştir. *A. queketti* kas dokusundaki metal miktarları ( $\mu\text{g/g}$ , ww) maksimumdan minimuma doğru K (2364.62-5126.83) > P (1008.50-2142.31) > Mg (152.05-309.45) > Fe (14.19-30.60) > As (8.74-45.50) > Zn (6.00-10.53) > Al (2.79-10.28) > Se (0.85-1.96) > Pb (0.60-1.19) > Cu (0.36-0.64) > Mn (0.28-0.73) > Cr (0.28-0.43) > Cd (0.08-0.12) olarak tespit edilmiştir. Tüm metallerin en yüksek seviyeleri Se ve As elementleri haricinde sonbaharda gözlenmiştir. Se için en yüksek değer kış, As için ise yaz mevsiminde gözlenmiştir. Kuzey Doğu Akdeniz'de yapılan farklı metal çalışmalarında da benzer sonuçlar gözlemlendiği rapor edilmiştir (Ersoy ve Çelik 2010; Yılmaz 2005; Korkmaz vd., 2019).

Arsenik doğada doğal olarak bulunan ve yaygın olarak dağılmış bir elementtir. Genellikle insanlar bu elemente içme suyu ve özellikle deniz ürünleri içeren yiyecekler yiyerek maruz kalmaktadır (Korkmaz vd., 2019). Yüksek bir As dozunun aşılmasının dermatite, düşük nöron transferine ve karaciğer kanserine neden olabileceği bildirilmektedir (Ikem ve Egiebor 2005). Özellikle, toksik metal olarak kabul edilen As, Cd ve Pb, gıdada önemli kirletici maddeler olarak kabul edilir (ATSDR 2017). Bu metallerin gıdada izlenmesi gıda güvenliği ve tüketici sağlığı için çok önemlidir. FAO/WHO'ya göre maksimum Cu, Zn, Cd ve Pb içeriği 30, 40, 0.5 ve 0.5  $\mu\text{g/g}$ ; AB'ye göre 10, mevcut değil, 0.1 ve 0.1  $\mu\text{g/g}$  ve Türk Gıda Kodeksine (TGK) göre 20, 50, 0.1 ve 1  $\mu\text{g/g}$  olarak belirlenmiştir. İncelenen türün Cu içeriği dört mevsim boyunca daha önce belirtilen tüm otoritelerin maksimum limit değerlerinin altında kalmıştır. Bununla birlikte, dört mevsim boyunca, balık kas dokusundaki ortalama Pb seviyeleri otoriteler tarafından önerilenden daha yüksek olmuştur. Zn miktarı sadece sonbaharda FAO/WHO tarafından önerilen limit değerinin üzerinde olurken diğer otoritelerin limit değerlerinin altında kalmıştır. Cd elementi incelendiğinde türün kas dokusundaki miktarı sonbahar dışında diğer mevsimlerde FAO/WHO limit değerinin altında olurken AB ve TGK'nin limit değerlerinden yüksek bulunmuştur.

Bu çalışmada incelenen türün mevsimler arasında değişken bir element konsantrasyonu olduğu gözlenmiştir. Bu değişkenlik mevsimin gerektirdiği ekolojik ihtiyaçlar, metabolik düzenleme, büyüme, üreme, gıda arzı ve çevresel koşullar, beslenme rejimleri ve davranışları gibi çeşitli faktörlerin birlikte etkileşimini göstermektedir (Brown ve Depledge, 1998; Monikh vd., 2013; Kulcu vd., 2014; Traina vd., 2019).

#### 3.2. Tüketici Sağlığı Risk Değerlendirmeleri

*Apogon queketti* tüketimi sonucu insan sağlığı açısından tahmini riskler EWI (Tablo 2), THQ ve TTHQ (Tablo 3), ve CRi (Tablo 4) olarak hesaplanmıştır. Tahminler, türün yetişkin ve çocuk tüketicilerin öğünlerinde haftada 1, 3 ya da 7 gün olması doğrultusunda yapılmıştır. EWI değerleri PTWI değerleri ile karşılaştırılmıştır. Cu, Fe, Zn (FAO/WHO, 1983), Al (JECFA, 2011) ve As (EFSA, 2009) elementleri için otoriteler tarafından belirlenen PTWI değerleri sırasıyla 125, 5600, 300-1000, 2000 ve 15 ( $\mu\text{g/kg/gün}$ ) şeklinde bildirilmiştir. Cd tolere edilebilir tüketim değeri, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü FAO ve Dünya Sağlık Örgütü WHO'nun Gıda Katkıları Ortak Uzman Komitesi (JECFA, 2013) tarafından 6.25  $\mu\text{g/kg}$  vücut ağırlığı (BW) aylık olarak değiştirilmiştir. Ancak yeni değer PTMI (provisional tolerable monthly intake) olarak güncellendiği için, mevcut çalışmada PTMI'den PTWI dönüşümü yapılmış ve yaklaşık olarak 6.25  $\mu\text{g/kg}$  BW weekly olarak kullanılmıştır. Mevcut çalışmada incelenen tüm örneklerde EWI değerleri PTWI değerlerinin altında bulunmuştur. Ayrıca balık tüketiminde bu metallerin PTWI açısından herhangi bir risk oluşturmadığı belirlenmiştir.

THQ, metal kontaminasyonuna maruz kalan tüketicilerin sağlık riskleri açısından doğrudan kesin bir değer vermese de potansiyel tehlikenin belirlenmesi için kullanışlı bir göstergedir. THQ değerinin >1 olması; alınan metal düzeyinin  $\geq$  oral referans doz (RfD) olduğunu göstermektedir. Bu durum metal tüketiminin tüketici açısından risk teşkil ettiğini ortaya koymaktadır. İncelenen balık türünün kas dokusundaki metal düzeyleri kullanılarak hesaplanan THQ düzeyleri içerisinde en yüksek değer As elementinde tespit edilmiş, diğer tüm metallerde THQ değerlerinin tamamı tehlikeli eşikten (<1) küçük olmuştur. As elementinin THQ değeri (1.9799), haftalık 7 gün tüketimde çocuklarda limit değerinin üzerinde bulunmuştur. As değerinin yüksek olmasından dolayı, *A. queketti* TTHQ değeri çocuk tüketicilerde 7 günlük alım sonrası >1 olarak belirlenmiştir. Ayrıca çocuklarda 3 günlük tüketim neticesinde ise TTHQ'nun 1'e yakın olması nedeniyle dikkat edilmesi gerekmektedir. Yetişkinlerdeki As elementinin THQ değerinin (0.9051) tehlike limitine yakın olması, 7 günlük tüketim sonrası TTHQ değerinin >1 olduğunu göstermiştir. Dolayısıyla bu türün 7 günlük tüketimi hem yetişkinlerde hem de çocuklarda sakıncalı olabilmektedir. Storelli vd. (2012) mevcut çalışmamızda elde edilen sonuçlar gibi, kupez kas dokusunun THQ ve TTHQ değerlerinin 1'den daha düşük olduğunu bildirmişlerdir. Benzer şekilde, Agusa vd. (2005), ağır metallerin deniz ürünleri tüketimine göre sağlık risk tahminlerini ele alan, aynı zamanda günlük Cd ve Cu alımının USA EPA (2019) sınırlarını aşmadığını da belgelemiştir.

*A. queketti* kas dokusunun tüketimi ile olası kanser riski açısından Cr, As, Cd ve Pb için CRi değerleri hesaplanmıştır. Sağlıklı bir insanın kansere yakalanma olasılığı  $10^{-5}$ 'tir ve CRi değerinin bu eşik altında olması beklenir. Mevcut çalışmada CRi<sub>Pb</sub> ve CRi<sub>Cr</sub> her iki tüketici grubunda  $\leq 10^{-5}$  olarak hesaplanmış, Pb ve Cr elementinin tüketiciler için kanserojen risk düzeylerinin düşük olduğu belirlenmiştir. CRi<sub>Cd</sub> değeri 3 ve 7 günlük alımlarda çocuklar için riskli olurken yetişkinler için 7 günlük alım sonucu risk oluşturmaktadır. CRi<sub>As</sub> değerleri ise yetişkinlerde 1 günlük alım sonrası risk oluşturmazken diğer tüm alım günlerinde her iki grup için risk oluşturduğunu göstermiştir. Traina vd. (2019), iAs için hesaplanan CRi değerlerinin, kırmızı kefal dışındaki dokuz balık türü için belirlenen limit değerden düşük olduğunu ve As için CRi değerlerinin inceledikleri bazı türlerin aşırı tüketilmesi ile sağlık sorunlarına neden olabileceğini bildirmişlerdir.

Tablo 1. A. queketti Kas Dokusunun Mevsimsel Metal Miktarları Ortalama ve Standart Hataları (µg/g)

Mevsm	Mg	P	K	Fe	Cu	Zn	Mn	Se	Al	Cr	As	Cd	Pb
Kış	818.10±5.57 <sup>c</sup> (180.31)	4575.79±204.08 <sup>c</sup> (1008.50)	10728.78±554.72 <sup>c</sup> (2364.62)	113.37±2.27 <sup>b</sup> (24.99)	2.08±0.13 <sup>b</sup> (0.46)	38.76±1.24 <sup>b</sup> (8.54)	2.11±0.06 <sup>b</sup> (0.46)	8.90±0.02 <sup>a</sup> (1.96)	35.31±0.36 <sup>b</sup> (7.78)	1.71±0.13 <sup>a</sup> (0.38)	50.80±0.15 <sup>b</sup> (11.20)	0.49±0.01 <sup>b</sup> (0.11)	2.74±0.08 <sup>c</sup> (0.60)
İlkbahar	707.21±26.88 <sup>d</sup> (152.05)	4695.60±233.35 <sup>c</sup> (1009.55)	11354.56±548.38 <sup>c</sup> (2441.23)	68.46±2.30 <sup>c</sup> (14.72)	1.68±0.02 <sup>c</sup> (0.36)	29.44±1.05 <sup>c</sup> (6.33)	1.30±0.05 <sup>b</sup> (0.28)	3.95±0.28 <sup>c</sup> (0.85)	12.97±0.07 <sup>d</sup> (2.79)	1.33±0.05 <sup>b</sup> (0.28)	46.50±1.04 <sup>c</sup> (10.00)	0.38±0.01 <sup>c</sup> (0.08)	4.81±0.01 <sup>a</sup> (1.03)
Yaz	1157.96±2.63 <sup>b</sup> (252.90)	6872.74±53.24 <sup>b</sup> (1501.01)	15132.56±179.28 <sup>b</sup> (3304.95)	64.97±1.12 <sup>c</sup> (14.19)	2.25±0.04 <sup>b</sup> (0.49)	27.49±0.21 <sup>c</sup> (6.00)	1.67±0.01 <sup>b</sup> (0.36)	5.18±0.05 <sup>b</sup> (1.13)	15.25±0.81 <sup>c</sup> (3.33)	1.71±0.01 <sup>a</sup> (0.37)	208.32±1.87 <sup>a</sup> (45.50)	0.48±0.01 <sup>b</sup> (0.10)	4.06±0.03 <sup>b</sup> (0.89)
Sonbahar	1358.45±4.11 <sup>a</sup> (309.45)	9404.37±178.77 <sup>a</sup> (2142.31)	22505.86±98.09 <sup>a</sup> (5126.83)	134.33±0.23 <sup>a</sup> (30.60)	2.83±0.08 <sup>a</sup> (0.64)	46.24±0.14 <sup>a</sup> (10.53)	3.20±0.60 <sup>a</sup> (0.73)	4.73±0.04 <sup>b</sup> (1.08)	45.14±0.98 <sup>a</sup> (10.28)	1.87±0.04 <sup>a</sup> (0.43)	38.38±0.81 <sup>d</sup> (8.74)	0.53±0.01 <sup>a</sup> (0.12)	5.24±0.30 <sup>a</sup> (1.19)

Aynı sütundaki farklı harfler (a, b, c, d) her bir metal için mevsimler arasındaki önemli farklılıkları göstermektedir (p < 0.05). () elementlerin yaş ağırlığı üzerinden değerleri göstermektedir.

Tablo 2. Haftalık Tahmini Tüketim (EWI; µg/kg BW)

Maruz kalma süresi (gün/hafta)	Fe		Cu		Zn		Mn		Se		Al		Cr		iAs		Cd		Pb	
	Y	Ç	Y	Ç	Y	Ç	Y	Ç	Y	Ç	Y	Ç	Y	Ç	Y	Ç	Y	Ç	Y	Ç
7	376.23	822.99	2380.61	2.14	13.84	30.26	1.05	2.29	2.37	5.19	9.50	20.77	0.73	1.61	1.01	2.22	0.20	0.44	1.06	2.31
EWI 3	161.24	352.71	1020.26	0.92	5.93	12.97	0.45	0.98	1.02	2.23	4.07	8.90	0.31	0.69	0.43	0.95	0.09	0.19	0.45	0.99
1	53.75	117.57	340.09	0.31	1.98	4.32	0.15	0.33	0.34	0.74	1.36	2.97	0.10	0.23	0.14	0.32	0.03	0.06	0.15	0.33

Y: Yetişkin ve Ç: Çocuk

Tablo 3. Hedef Tehlike Oranı (THQ) ve Toplam Hedef Tehlike Oranı (TTHQ)

Maruz kalma süresi (gün/hafta)	Fe		Cu		Zn		Mn		Se		Al		Cr		iAs		Cd		Pb		TTHQ	
	Y	Ç	Y	Ç	Y	Ç	Y	Ç	Y	Ç	Y	Ç	Y	Ç	Y	Ç	Y	Ç	Y	Ç	Y	Ç
7	0.0073	0.0159	0.0029	0.0064	0.0063	0.0007	0.0008	0.0017	0.0520	0.0054	0.0015	0.0032	0.0292	0.0640	0.9051	<b>1.9799</b>	0.0248	0.0543	0.0558	0.1221	<b>1.09</b>	<b>2.25</b>
THQ 3	0.0031	0.0068	0.0013	0.0027	0.0027	0.0003	0.0003	0.0007	0.0222	0.0023	0.0006	0.0014	0.0125	0.0273	0.3868	0.8462	0.0106	0.0232	0.0239	0.0522	0.46	0.96
1	0.0010	0.0023	0.0004	0.0009	0.0009	0.0001	0.0001	0.0002	0.0074	0.0008	0.0002	0.0005	0.0042	0.0091	0.1289	0.2821	0.0035	0.0077	0.0080	0.0174	0.15	0.32

Y: Yetişkin ve Ç: Çocuk; THQ değerleri > 1 koyu olarak gösterilmiştir.

Tablo 4. Yaşam Boyu Kanser Riski (CRI)

Maruz kalma süresi (gün/hafta)	CRi <sub>Cr</sub>		CRi <sub>As</sub>		CRi <sub>Cd</sub>		CRi <sub>Pb</sub>	
	Y	Ç	Y	Ç	Y	Ç	Y	Ç
7	4.39E-05	9.59E-05	<b>4.07E-04</b>	<b>8.91E-04</b>	<b>1.56E-04</b>	<b>1.56E-03</b>	1.90E-06	4.15E-06
CRi 3	1.87E-05	4.10E-05	<b>1.74E-04</b>	<b>3.81E-04</b>	6.68E-05	<b>1.46E-04</b>	8.11E-07	1.77E-06
1	6.25E-06	1.37E-05	5.80E-05	<b>1.27E-04</b>	2.23E-05	4.87E-05	2.70E-07	5.92E-07

Y: Yetişkin ve Ç: Çocuk; CRi değerleri > 10<sup>-5</sup> koyu olarak gösterilmiştir.



## 4. Sonuç

Mevcut çalışmanın sonuçları, Kuzeydoğu Akdeniz'den yakalanan *A. queketti* türünün metal içeriklerinin insan tüketimi açısından risk değerlendirmesini ortaya koymaktadır. Bulgular metal dağılımı açısından araştırılan balık türünün iyi bir besinsel kaynak olduğunu göstermiştir. Hem yetişkinler hem de çocuklar için hesaplanan kanserojen olmayan değerleri genel olarak bu türlerin tüketiminden kaynaklanan önemli bir tehlike bulunmadığını göstermiştir. Ancak yoğun tüketim durumunda, kanserojen açıdan Cd ve As için olası risk oluşturabileceğini göstermiştir. Bununla birlikte, bu türün besinsel özellikleri ile ilgili daha fazla araştırma yapılması önerilmektedir.

## Kaynakça

- Akyol, O., & Unal, V. (2015). Short communication Additional record of the Lessepsian *Apogon queketti* Gilchrist, 1903 (Osteichthyes: Apogonidae) from the Aegean Sea (Gokova Bay, Turkey). *Journal of Applied Ichthyology*, 1, 2.
- Andaloro, F., Romeo, T., Renzi, M., Guerranti, C., Perra, G., Consoli, P., Perzia, P., & Focardi, S. E. (2012). Alteration of potential harmful elements levels in sediments and biota from the central Mediterranean Sea (*Aeolian Archipelago*) following an episode of intense volcanic activity. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(7), 4035-4047.
- ATSDR (Agency for Toxic Substance and Disease Registry). (2017). Priority list of hazardous substances. Atlanta, Georgia, USA.
- Brown, M. T., & Depledge, M. H. (1998). Determinants of trace metal concentrations in marine organisms. In *Metal metabolism in aquatic environments* (pp. 185-217). Springer, Boston, MA.
- Canli, M., & Atli, G. (2003). The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species. *Environmental pollution*, 121(1). 129-136.
- Copat, C., Arena, G., Fiore, M., Ledda, C., Fallico, R., Sciacca, S., & Ferrante, M. (2013). Heavy metals concentrations in fish and shellfish from eastern Mediterranean Sea: consumption advisories. *Food and Chemical Toxicology*, 53, 33-37.
- EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). (2009). Scientific Opinion on arsenic in food. *EFSA Journal*, 7(10), 1351.
- Ersoy, B., & Çelik, M. (2010). The essential and toxic elements in tissues of six commercial demersal fish from Eastern Mediterranean Sea. *Food and Chemical Toxicology*, 48, 1377-1382.
- Eryilmaz L. & Dalyan C., (2006). First record of *Apogon queketti* Gilchrist (Osteichthyes: Apogonidae) in the Mediterranean Sea. *Journal of Fish Biology*, 69: 1251-1254, (EMEDTURLEV-L296)
- FAO/WHO. (1983). *Evaluation of certain food additives and contaminants: twenty-seventh report of the Joint FAO Expert Committee on Food Additives*. WHO technical report series no. 983. Geneva, Italy
- Froese, R., & Pauly, D. (2014). Fishbase. World Wide Web electronic publication. Available at: [www.fishbase.org](http://www.fishbase.org). Version (02/2014) (accessed on 22 April 2014).
- Golani, D., Orsi-Relini, L., Massuti, E., & Quignard, J. P. (2002). CIESM Atlas of exotic species in the Mediterranean, Vol. 1. Fishes. 256 pp. Available at: [www.ciesm.org/online/atlas/](http://www.ciesm.org/online/atlas/) (accessed on 22 April 2014).
- Ikem, A., & Egiebor, N. O. (2005). Assessment of trace elements in canned fishes (mackerel, tuna, salmon, sardines and herrings) marketed in Georgia and Alabama (United States of America). *Journal of Food Composition and Analysis*, 18, 771-787.
- JECFA (2011). *Evaluation of certain food additives and contaminants: Seventyfourth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives*. WHO technical report series no. 966. Rome, Italy
- JECFA (2013). *Evaluation of certain food additives and contaminants: Seventyfourth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives*. WHO technical report series no. 983. Rome, Italy
- Korkmaz, C., Ay, Ö., Ersoysal, Y., Köroğlu, M. A., & Erdem, C. (2019). Heavy metal levels in muscle tissues of some fish species caught from north-east Mediterranean: Evaluation of their effects on human health. *Journal of Food Composition and Analysis*, 81, 1-9.
- Kulcu, A. M., Ayas, D., Kosker, A. R., & Yarkin, K. (2014). The Investigation of metal and mineral levels of some marine species from the Northeastern Mediterranean Sea. *Journal of Marine Biology & Oceanography*, 3, 2, 2.
- Monikh, F. A., Safahieh, A., Savari, A., & Doraghi, A. (2013). Heavy metal concentration in sediment, benthic, benthopelagic, and pelagic fish species from Musa Estuary (Persian Gulf). *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(1), 215-222.
- Smith, J. L. B. (1965). *The Sea fishes of Southern Africa*, 5th edn. Central News Agency Ltd., South Africa. 580 pp.
- Traina, A., Bono, G., Bonsignore, M., Falco, F., Giuga, M., Quinci, E. M., ... & Sprovieri, M. (2019). Heavy metals concentrations in some commercially key species from Sicilian coasts (Mediterranean Sea): Potential human health risk estimation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 168, 466-478.
- US EPA (U.S. Environmental Protection Agency). (2019). Regional screening levels (RSLs) – equations. <https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls-equations>
- US EPA (United States Environmental Protection Agency), 2008. *Child-Specific Exposure Factors Handbook (Final Report) 2008*. EPA/600/R-06/096F. National Center for Environmental Assessment Office of Research and Development, Washington, DC.
- US EPA (US Environmental Protection Agency). (2000). *Guidance for Assessing Chemical Contaminant Data for Use in Fish Advisories, Volume II. Risk Assessment and Fish Consumption Limits*. EPA 823-B-00-008. United States Environmental Protection Agency, Washington, DC.

- US EPA. (2014). United States Environmental Protection Agency. Mid- Atlantic Risk Assessment. United States Environmental Protection Agency, Washington, URL:<[http://www.epa.gov/reg3hwmd/risk/human/rb-oncentration\\_table/users-guide.htm](http://www.epa.gov/reg3hwmd/risk/human/rb-oncentration_table/users-guide.htm)> (Accessed 26.03.14).
- Yılmaz, A.B. (2005). Comparison of heavy metal levels of grey mullet (*Mugil cephalus* L.) and sea bream (*Sparus aurata* L.) caught in Iskenderun Bay (Turkey). *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 29, 257–262.



# Türkiye ile Avrupa Birliği Ülkelerinin Lojistik Performanslarının Entropi Ağırlıklı Edas Yöntemiyle Karşılaştırılması

Mehmet Orhan<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Gaziantep Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme ABD, Gaziantep, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1160-0258)

(İlk Geliş Tarihi 1 Aralık 2019 ve Kabul Tarihi 31 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.657693)

**ATIF/REFERENCE:** Orhan, M. (2019). Türkiye ile Avrupa Birliği Ülkelerinin Lojistik Performanslarının Entropi Ağırlıklı Edas Yöntemiyle Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1222-1238.

## Öz

Dünya Bankası, ülkelerin lojistik faaliyetlerinin kıyaslanabilmesi için lojistik performans indeksi (LPI) geliştirmiştir. Bu indekslere ait verileri iki yılda bir yayınlanmaktadır. Bu çalışmada, Dünya Bankası tarafından yayınlanan 2018 yılına ait lojistik performans indeksi verilerini kullanarak Türkiye ile Avrupa Birliği ülkelerinin lojistik performanslarının ENTROPİ ağırlıklı EDAS yöntemi kullanılarak kıyaslanması amaçlanmıştır. Bu kapsamda çalışmada ilk olarak ülkeleri karşılaştırırken kullanılacak kriterlerin önem dereceleri ENTROPİ yöntemi ile belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen kriter ağırlıkları kullanılarak EDAS yöntemiyle lojistik performanslarına göre ülkelerin sıralamaları yapılmıştır. Ayrıca lojistik performans indeksine göre ülkelerin sıralamaları karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada ENTROPİ yöntemiyle yapılan analizler sonucunda kriterlerin önem derecelerine göre; gümrükler, altyapı, lojistik yetkinlik, yük izleme ve takip edilebilirlik, zamanlama ve uluslararası sevkiyatlar biçiminde sıralanmıştır. Dolayısıyla çalışmada ülkelerin lojistik performanslarının kıyaslanmasında en önemli kriterin gümrükler olduğu tespit edilmiştir. ENTROPİ yöntemiyle belirlenen kriter ağırlıkları kullanılarak EDAS yöntemiyle gerçekleştirilen analizler sonucunda ülkelerin lojistik performans sıralaması sırasıyla Almanya, İsveç, Danimarka, Hollanda, Avusturya, Belçika, Birleşik Krallık, Finlandiya, Fransa, İspanya, İtalya, Norveç, Çekya, Lüksemburg, Portekiz, Polonya, İrlanda, Macaristan, Slovenya, Estonya, Yunanistan, Türkiye, Kıbrıs, Hırvatistan, Litvanya, Bulgaristan, Slovakya, Malta ve Letonya'dır. Örneklemdeki lojistik performans indeksi sırası ile EDAS yöntemiyle gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen sıralamalar karşılaştırıldığında 5 ülke (Hollanda, Danimarka, Lüksemburg, Litvanya ve Türkiye) daha üst sıraya çıkmış, 6 ülke (Belçika, Avusturya, Portekiz, Kıbrıs, Bulgaristan ve Slovakya) daha aşağı sıraya düşmüş ve 19 ülke (Almanya, İsveç, Birleşik Krallık, Finlandiya, Fransa, İspanya, İtalya, Norveç, Çekya, Polonya, İrlanda, Macaristan, Slovenya, Estonya, Yunanistan, Hırvatistan, Malta ve Letonya) sırasını korumuştur. Almanya ve İsveç yine ilk iki sırada yer almıştır. Türkiye'nin sırası lojistik performans indeksine göre örneklemde 23. sırada yer alırken analiz sonucunda 22 sıraya yükselmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Lojistik Performans, Lojistik Performans İndeksi (LPI), ENTROPİ, EDAS.

## Comparison of the Logistics Performance between Turkey and European Union Member Countries with Entropy Weighted Edas Method

### Abstract

\* Sorumlu Yazar: Gaziantep Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme ABD, Gaziantep, Türkiye, ORCID: 0000-0003-1160-0258, [mehmetorhan01@gmail.com](mailto:mehmetorhan01@gmail.com)

In order to compare the countries' logistic operations, the World Bank developed the logistic performance index (LPI). Data for this index are published every two years. This study aims to compare Turkey's logistic performance with the European Union states by using the LPI of the year 2018 with ENTROPY weighted EDAS method. In this respect, firstly, the importance degree (weights) of the criteria to be used when comparing countries was determined with ENTROPY method. Afterwards, the ranking of the countries according to their logistic performance was made with EDAS method by using criteria weights as determined. Furthermore, the rankings of the countries were compared with the logistics performance index.

In this study, as a result of the analysis made by ENTROPY method, the ranking of the criteria according to the importance degree is customs, infrastructure, logistics competence, freight tracking and traceability, timing and international shipments. Therefore, the most important criteria for comparing the logistic performance of the countries was found to be customs. As a result of the analyzes performed by EDAS method using criteria weights determined by ENTROPY method, the logistics performance rankings of the countries respectively are Germany, Sweden, Denmark, Netherlands, Austria, Belgium, United Kingdom, Finland, France, Spain, Italy, Norway, Czechia, Luxembourg, Portugal, Poland, Ireland, Hungary, Slovenia, Estonia, Greece, Turkey, Cyprus, Croatia, Lithuania, Bulgaria, Slovakia, Malta and Latvia. When the sequence obtained from the results of the analysis carried out with EDAS method compared logistics performance index rank in the sample, five countries (Netherlands, Denmark, Luxembourg, Lithuania and Turkey) increased their rank, six countries (Belgium, Austria, Portugal, Cyprus, Bulgaria and Slovakia) lower their rank and 19 countries (Germany, Sweden, United Kingdom, Finland, France, Spain, Italy, Norway, Czechia, Poland, Ireland, Hungary, Slovenia, Estonia, Greece, Croatia, Malta and Latvia) maintained their order. While Turkey's rank was 23 According to the logistics performance index in the sample, as a result of the analysis has increased to 22nd place.

**Keywords:** Logistics Performance, Logistics Performance Index, ENTROPY, EDAS.

## 1. Giriş

Lojistik ilk olarak askeri ihtiyaçların karşılanmasına yönelik olarak ortaya çıkmış olmasına karşın bilgi ve iletişim teknolojilerinin etkisiyle değişen ve dönüşen günümüz koşullarında hayatın her aşamasında yer almaktadır. Lojistik, özellikle de işletmeler için vazgeçilmez hayati bir konuma yükselmiştir (Şirin ve Emanet, 2017:302; Özbek ve Demirkol, 2018; Aytekin, 2018). Lojistik genel olarak, ürün (nihai ürün, yarı mamül ve hammadde), bilgi ve paranın çıkış noktası ve nihai tüketim noktası arasındaki çift yönlü hareketleri ve bu hareket süreçleri esnasında oluşan tüm süreçlerin verimli ve etkili bir biçimde planlanması, uygulanması, kontrol edilmesi ve denetlenmesi şeklinde tanımlanmaktadır (Aytekin, 2018; Şirin ve Emanet, 2017: 302)

Türkiye'nin 2023 hedeflerine erişebilmesi amacıyla oluşturulan stratejilerin en önemlilerinden birisi, uluslararası arenada rekabet üstünlüğü oluşturarak dış ticarete önemli oyuncularından birisi olabilmektir. Dış ticarete sürdürülebilir başarının elde edilmesi, katma değerli ve çeşitlendirilmiş üretimin lojistik faaliyetlerle bütünleştirilmesiyle sağlanabilecektir. Lojistik sektörü, Türkiyede son 20 yıldır karayolu taşımacılığının yanında deniz, demir ve hava yollarının kullanılarak kombine taşımacılık sistemlerinin etkinleştirilmesi ve bilgi teknolojisi alt yapısının iyileştirilmesiyle gelişme göstermektedir. (Sezen vd., 2016:186). Türkiye'de lojistik sektörünün Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYH) içerisindeki payı yıllara göre %10 ile %20 arasında değişiklik göstermektedir. (Yapraklı ve Ünal, 2017:591).

Dünya çapında ticaret ve taşımacılık alanlarındaki serbestleşme eğilimlerinin hızla artması, lojistik sektörünü stratejik bir sektöre haline gelmesini sağlamış ve lojistik sektörü küresel anlamda önemli büyüme rakamlarına ulaşmıştır (Yapraklı ve Ünal, 2017:589; Sezen vd., 2016). Lojistik kavramının tüm dünyada hem işletme maliyetlerindeki hem de ülke ekonomilerindeki etkilerinin anlaşılmasıyla beraber ülkelerin lojistik performansı önemli göstergelerden biri haline gelmiştir. Bu noktadan hareketle, Dünya Bankası, lojistik performans üzerinde etkili olan 6 kriteri (gümrük, altyapı, uluslararası sevkiyatlar, lojistik kalite ve yetkinlik, takip ve izleme, zamanlama) kullanarak ülkelerin lojistik performanslarını 2007 yılından itibaren değerlendirmeye başlamış ve 2007, 2010, 2012, 2014, 2016 ve 2018 yıllarında da Lojistik Performans Endeksi (LPI) ismiyle iki yılda bir yayınlamıştır (Şirin ve Emanet 2017:302; Yapraklı ve Ünal, 2017:589).

Bu çalışmada Türkiye ile Avrupa Birliği ülkelerinin lojistik performanslarının kıyaslamaları yapılmıştır. Ülkelerin lojistik performansların kıyaslamasında; Dünya Bankası Lojistik Performans Endeksi (LPI)'nin altı kriteri (gümrük, altyapı, uluslararası sevkiyatlar, lojistik kalite ve yetkinlik, takip ve izleme, zamanlama) kullanılmıştır. Bu kapsamda çalışmada Dünya Bankası 2018 yılında yayınlamış olduğu bu kriterlere ait veriler kullanılmıştır (<http://databank.worldbank.org>). Yapılan analizler sonucunda elde edilen bulgular çerçevesinde Türkiye'nin lojistik performansının geliştirilmesine yönelik önerilerde sunulmuştur.

## 2. Literatür Taraması

Literatürde hem lojistik sektörü ile ilgili hem de diğer sektörlerle ilgili çalışmalarda çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır. Bu teknikler aşağı yukarı 30 yıldan beri literatürde aktif şekilde kullanılmaktadır (Rençber, 2019:69-70). Literatürde sıklıkla kullanılan ÇKKV yöntemleri; EDAS (Evaluation based on Distance from Average Solution), TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija Kompromisno Resenje), Değer Aralığı (Range of Value, ROV), Basit Toplamsal Ağırlıklandırma (Simple Additive Weighting, SAW), PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations), MULTI-MOORA (Multi-Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis), Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Process, AHP), Analitik Ağ Süreci (Analytic Hierarchy Network, ANP), Veri Zarflama

Analizi (Data Envelopment Analysis, DEA), CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation), CODAS (Combinative Distance-based Assessment), Gri İlişkisel Analiz (Grey Relational Analysis, GRA), Kademeli Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi (Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis, SWARA), VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija Kompromisno Resenje), COPRAS (Complex Proportional Assessment) ve ELECTRE (Elimination and Choice Expressing Reality) yöntemleridir. Bu kapsamda Tablo 1’de literatürde yapılan bazı çalışmalara ilişkin bilgiler sunulmuştur

Tablo 1. Literatür Taraması

Yazar(lar)	Amaç	Yöntem	Kriter(ler)	Bulgu(lar)
Gök Kısa ve Ayçin (2019)	OECD ülkelerinin lojistik performanslarının 2012-2018 yıllarına göre değerlendirilmesi	SWARA ve EDAS	Gümrük Yönetimi Altyapı Uluslararası Sevkiyat Lojistik Hizmet Kalitesi Takip ve İzleme Zamanlama	En önemli kriterler lojistik hizmet kalitesi, altyapı ve uluslararası sevkiyat olarak belirlenmiştir. Lojistik performansı en yüksek olan ülkelerin ise sırasıyla Almanya, Hollanda ve İsveç olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
Oğuz vd. (2019)	Yedi Asya ülkesinin (Güney Kore, Hong Kong, Singapur, Endonezya, Malezya, Tayvan ve Tayland) 2018 yılı lojistik performans değerlendirilmesi	TOPSIS	Altyapı Uluslararası Taşımacılık Lojistik Hizmet Kalitesi Takip Edilebilirlik Zamanında Teslim	Sıralama sonucunda lojistik performansı en yüksek olan ülkenin Singapur, en düşük olan ülkenin ise Endonezya olduğu tespit edilmiştir.
Ulutaş ve Karaköy (2019)	TAHA Kargo Dış Ticaret A.Ş.’nin 2011-2017 yıllarındaki performans değerlendirilmesi	CRITIC ve ROV (Değer Aralığı)	Net Satış Net Satış Değişimi Faiz, Vergi Öncesi Kâr Faiz, Vergi Öncesi Kâr Değişimi Aktif Toplam Özkaynak Çalışan Sayısı İhracat	Şirketin 2017 yılındaki performansı diğer yıllara göre yüksektir
Özdemir ve Güneroğlu (2018)	Kuru yük gemisi şirketleri için kargo tipi seçim problemi analiz edilmesi	Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS	Net navlun karı Kargo taşıma koşulları Yolculuk başına toplam yakıt tüketimi Korsanlık ve kaçak riski Bir sonraki sefer için pozisyon Kargo elleçleme maliyeti	Kriterlerin önem sıralaması net navlun karı (% 9,85), kargo taşıma koşulları (% 6,35), yolculuk başına toplam yakıt tüketimi (% 5,96), korsanlık ve kaçak riski (5,08) %, bir sonraki sefer için pozisyon (% 4,87) ve kargo elleçleme maliyeti (% 4,74) biçimindedir.
Rençber ve Avcı (2018)	BIST’te işlem gören bankaların sermaye yeterlilikleri bakımından kıyaslanması	WASPAS	Bankaların sermaye yeterlilik oranları	Sermaye yeterliliği bakımından Albaraka, Kalkınma ve TSKB bankaları en iyi iken QNB Finansbank ve Denizbank’ın ise genelde düşük düzeyde oldukları tespit edilmiştir.
Ecer (2018)	4 üçüncü parti lojistik firmasının performanslarının değerlendirilmesi	Bulanık AHP ve Bulanık EDAS	Maliyet İlişki Hizmetler Kalite Bilgi Sistemi Esneklik Teslimat Profesyonellik Finansal Pozisyon Konum İtibar	B, D ve A ilk 3 üçüncü parti lojistik firması ve D ise en kötü üçüncü parti lojistik firmasıdır.
Özbek ve Demirkol (2018)	500 listesinde yer alan 8 lojistik firmasının 2016 yılındaki ekonomik performans değerlendirilmesi	SWARA GİA	Net Satış Net Satış Değişimi Faiz, Vergi Öncesi Kâr (FVÖK) FVÖK Değişim Aktif Toplam Öz kaynak İhracat Çalışan Sayısı	Performansı en yüksek firmanın Netlog olduğu görülmüştür
Özbek 2018	2017 yılı Fortune 500 Türkiye listesinde yer alan 8 lojistik hizmeti sunan firmanın performans değerlendirilmesi	SWARA, COPRAS, Gri İlişkisel Analizi ve TOPSIS	Net Satış Net Satış Değişimi Faiz, Vergi Öncesi Kâr (FVÖK) FVÖK Değişim Aktif Toplam Öz kaynak İhracat Çalışan Sayısı	Lojistik hizmeti sunan firmaların performansları değerlendirilmesinde en önemli kriterin Net Satış ve her üç yönteme göre performansı en yüksek firmanın ise “Netlog” olduğu ortaya konmuştur.



Özbek ve Engür (2018).	Lojistik sektöründe ulusal ve uluslararası faaliyette bulunan 7 adet firmanın web sitelerinin değerlendirilmesi	EDAS	Güncellik Bilgi zenginliği Müşteri ilişkileri Yabancı dil seçenekleri Online sipariş kabul Ürün kataloğu Görsel çekicilik (tasarım) Kullanım kolaylığı (işlevsellik) Özel misyon ya da web sitesi amaçları İçerik, serbest kaynaklar vs.nin yararları ve kalitesi Algısal faktörler	Web sitesi en iyi olan firmanın Omsan Lojistik olduğu belirlenmiştir.
Ayrim vd. (2018)	Dört büyük kargo taşımacılık şirketinin performanslarının değerlendirilmesi	Stokastik COPRAS	Zamanında teslimat Maliyet Destek hizmeti Teslimat güvenliği Teslimat süresi	Elde edilen bulgulara göre teslim süresi en önemli kriter olarak belirlenmiş ve A <sub>3</sub> firması en yüksek performansa sahiptir
Asoğlu ve Eren (2018)	Kargo şirketi seçimi	AHP, TOPSIS, PROMETHEE	Kargonun söz verilen sürede yerine ulaştırılması Personelin saygılı ve istekli olması Firma-müşteri arasında etkili bir iletişim imkânının olması Kargoda oluşabilecek zararlar için güvence verilmesi Personelin müşteri problemini hızlı çözebilmesi fiyatlandırmanın uygun olması Kargo kabulü ve tesliminin hızlı yapılması	Kargo şirketlerinin karşılaştırılması yapıldığında TOPSIS ve PROMETHEE yöntemlerinin sıralamasında kargo şirketleri farklı sıralamaya sahiptirler.
Tüysüz ve Şimşek (2017)	Türkiye'deki bir kargo firmasının şubelerinin performansını etkileyen faktörleri analiz etmişlerdir ve bunların önem derecelerinin değerlendirilmesi.	Sezgisel AHP	Operasyonel faktörler İnsan kaynakları ile ilgili faktörler Finansal faktörler Müşteri ilişkileri ile ilgili faktörler Satış ve pazarlama ile ilgili faktörler Güvenlik ve güvenlikle ilgili Diğer birimler ile ilgili faktörler	Sonuçlara göre, güvenlik ve güvenlikle ilgili faktörler en yüksek önem seviyesine sahiptir Ardından satış ve pazarlama ile ilgili faktörler, müşteri ilişkileri ile ilgili faktörler gelmektedir
Ergün ve Aşıkoğlu (2016)	Lojistik köy olmaya en elverişli merkez veya merkezlerin belirlenmesi	TOPSIS	Yerin Uygunluğu Ulaşım Bağlantısı Arazi Özellikleri Yer ve Bağlantılı İş Aktiviteleri	Lojistik köy iç en ideal ilk 3 aday sırasıyla Mersin-Merkez, Konya-Merkez ve Bilecik-Bozüyük olarak belirlenmiştir
Aguezoul ve Pires (2016)	13 üçüncü parti lojistik firmasının performans değerlendirilmesi	ELECTRE I	Maliyet İlişki Hizmetler Kalite Bilgi ve ekipman sistemi Esneklik Teslimat Profesyonellik Finansal pozisyon Konum İtibar	Dört farklı senaryoda en iyi üçüncü parti lojistik firması belirlenmiştir.
Akbulut ve Rençber (2015)	BIST'te işlem gören İmalat sektöründeki 32 işletmenin 2010-2012 döneminde finansal performanslarının değerlendirilmesi	TOPSIS	Likidite oranları, Faaliyet oranları, Karlılık oranları Pazar değerinin defter değerine oranı	İşletmelerin borsa performanslarıyla finansal performansları arasında istatistik olarak anlamlı ilişki olmadığı tespit edilmiştir
Mirzaei vd. (2015)	İran'daki Ghaen şehri kargo terminali için en uygun yeri bulunması	Bulanık AHP	Bölgesel konum Arazi topografyası Maliyet Baskın rüzgar yönü Çevresel tahribat Gelecekte genişleme imkanı Kargo merkezine uzaklık	Sonuçlar, önerilen yöntemin, kargo terminaleri için en uygun yerin seçilmesinde güvenilir bir yöntem olduğunu göstermektedir.
Akman ve Baynal (2014)	Lojistik hizmeti sağlayan firma seçimi	Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS	Zamanında teslimat Ürün erişilebilirliği Güvenilirlik	Lojistik hizmeti sağlayan firma seçiminde LSP7 firması en uygun firma olmuştur.

			Firma geçmişi Firma itibarı Bilgi paylaşımı Esneklik	
Görener (2014)	Depolama faaliyetleri için lojistik servis sağlayıcı seçiminde önemli değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi	ANP	Firma Özellikleri, Maliyet, Firmaya Ait Depoların Özellikleri, Esneklik, Kalite, Ambalajlama, Faaliyetleri, Teknoloji, İletişim Olanakları, Risk Yönetimi, Diğer Kriterler ve bu ana kriterlerin alt kriterleri	Yapılan analiz sonucunda, “operasyonel yeterlilik” kriterinin en önemli kriter olduğu saptanmıştır.
Bağcı ve Rençber (2014)	Kamu bankaları ile özel bankalarının 2006-2012 döneminde kârlılık performansları karşılaştırması	PROMETHEE	Net kâr / toplam aktif Net kâr / özkaynak toplamı Vergi öncesi kâr / toplam aktif	Kamu bankaları arasında en kârlı banka Halk Bankası, özel bankalar arasında ise Denizbank’tır.
Uzun (2013)	Kargo taşımacılık sektöründeki hizmet kalitesini etkileyen etkenlerin ağırlıklarını bulup, üç kargo taşımacılık firmasının performanslarının değerlendirilmesi	AHP ve TOPSIS	Firmaya Güvenirlilik Müşteriye Duyarlılık Hizmeti Ulaşılabilirlik	A Kargo firmasının daha yüksek kalite düzeyine sahip olduğu belirlenmiş; Ancak kurumsal müşteriler açısından her iki yönetime göre de kargo firmaları arasında kalite farkının az olduğu hesaplanmıştır.
Çakır ve Perçin (2013)	2011 yılında Fortune 500 listesinde yer alan 10 lojistik firmasının performansının değerlendirilmesi	TOPSIS, VIKOR, CRITIC, SAW ve Borda Sayım	Özkaynaklar Aktifler Kaldıraç Oranı Çalışan Sayısı Net Satışlar Esas Faaliyet Kâr Marjı	Uygulama sonucunda çalışmada kullanılan bütünlük modelin performans ölçümü amacıyla kullanılacak uygun bir yöntem olduğu ve uygulayıcılara tatminkâr sonuçlar verdiği ortaya çıkmıştır. Borusan Lojistik firması en yüksek performansı gösteren firma olmuştur.
Özbek ve Eren (2012)	3PL firmalarının seçimi yapılması	AHP	Kalite Uzun süreli ilişki Firma imajı Operasyonel performans ve bu ana kriterlerin alt kriterleri	Kalite faktörü en önemli faktördür. Bu faktörü Uzun süreli ilişki ve firma imajı faktörleri takip etmektedir. en uygun 3PL firmasının % 34 ile C firması olduğu ve % 28 ile A firması ikinci en iyi seçenektir.

Literatürdeki bazı çalışmalarda kriter ağırlıkları eşit kabul edilirken bazı çalışmalarda kriter ağırlıklarının belirlenmesinde öznel değerlendirmelere dayanan yöntemler kullanılmıştır. Bu çalışmada öznellikten uzak objektif değerlendirmeye imkan tanıyan ENTROPİ yöntemiyle kriter ağırlıkları belirlenip EDAS yöntemiyle ülkelerin lojistik performanslarına göre sıralanarak ülkelerin lojistik performanslarının kıyaslanmasında kullanılacak objektif bir model oluşturulması hedeflenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada; Dünya Bankası tarafından geliştirilen ve 2 yılda bir yayımlanan Lojistik Performans İndeksinin 2018 yılına ait veriler kullanarak Avrupa Birliği ülkeleri ile Türkiye’nin lojistik performansını kıyaslanmak amaçlanmıştır. Bu amaçla Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden ENTROPİ ve EDAS yöntemlerinden faydalanılmıştır. Analizlerde Dünya Bankası tarafından yayımlanan Lojistik Performans İndeksinde yer alan gümrükler, altyapı, uluslararası sevkiyatlar, lojistik yetkinlik, zamanlama (dakiklik) ile yük izleme ve takip edilebilirlik göstergeleri kriter olarak kullanılmıştır. Ülkelerin kriterlere ilişkin verileri Dünya Bankası web sitesinden (<http://www.worldbank.org>) alınmıştır. Araştırmaya dahil olan ülkelerin ülke kodu, LPI’ne göre sırası ve araştırma kriterlerine ilişkin veriler Tablo 2’de sunulmuştur. Çalışmada ilk olarak ENTROPİ yöntemi ile kıyaslamada kullanılacak kriterlerin önem dereceleri (ağırlıkları) belirlenmiş ve kriterler önem derecesine göre sıralanmıştır. Daha sonra belirlenen kriter ağırlıklarını kullanarak EDAS yöntemiyle analizler gerçekleştirilerek Avrupa Birliği ülkeleri ile Türkiye’nin lojistik performanslarına göre sıralamaları yapılmış, elde edilen analiz sonuçları bulgular bölümünde sunulmuştur. Ayrıca Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleriyle belirlenen sıralamalar ile Lojistik Performans İndeksinde göre sıralamaların karşılaştırılması yapılmıştır.

Bu çalışmanın iki kısıtı vardır. Birincisi; araştırmaya dahil edilen ülkelerin sayısı ile ilgilidir. İkinci kısıt ise analizlere dahil edilen zaman dilimiyle ilgili olup, analizler yalnızca 2018 yıllı verilerini kullanarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma araştırmada kullanılan ÇKKV yöntemlerinden ENTROPİ ve EDAS yöntemlerini birlikte kullanarak ülkelerin lojistik faaliyetlerinin performansını kıyaslayarak diğer çalışmalardan ayrılmaktadır.

Tablo 2. Kullanılan Veri Kümesi

Ülke	Kodu	Örnekleme Sıra	LPI Sıra	LPI Skor	Gümrükler	Altyapı	Uluslararası Sevkiyatlar	Lojistik Yetkinlik	Yük İzleme ve Takip Edilebilirlik	Zamanlama
Almanya	DEU	1	1	4,20	4,09	4,37	3,86	4,31	4,24	4,39
İsveç	SWE	2	2	4,05	4,05	4,24	3,92	3,98	3,88	4,28
Belçika	BEL	3	3	4,04	3,66	3,98	3,99	4,13	4,05	4,41
Avusturya	AUT	4	4	4,03	3,71	4,18	3,88	4,08	4,09	4,25
Hollanda	NLD	5	6	4,02	3,92	4,21	3,68	4,09	4,02	4,25
Danimarka	DNK	6	8		3,92	3,96	3,53	4,01	4,18	4,41
Birleşik Krallık	GBR	7	9	3,99	3,77	4,03	3,67	4,05	4,11	4,33
Finlandiya	FIN	8	10	3,97	3,82	4,00	3,56	3,89	4,32	4,28
Fransa	FRA	9	16	3,84	3,59	4,00	3,55	3,84	4,00	4,15
İspanya	ESP	10	17	3,83	3,62	3,84	3,83	3,80	3,83	4,06
İtalya	ITA	11	19	3,74	3,47	3,85	3,51	3,66	3,85	4,13
Norveç	NOR	12	21	3,70	3,52	3,69	3,43	3,69	3,94	3,94
Çekya	CZE	13	22	3,68	3,29	3,46	3,75	3,72	3,70	4,13
Portekiz	PRT	14	23	3,64	3,17	3,25	3,83	3,71	3,72	4,13
Lüksemburg	LUX	15	24	3,63	3,53	3,63	3,37	3,76	3,61	3,90
Polonya	POL	16	28	3,54	3,25	3,21	3,68	3,58	3,51	3,95
İrlanda	IRL	17	29	3,51	3,36	3,29	3,42	3,60	3,62	3,76
Macaristan	HUN	18	31	3,42	3,35	3,27	3,22	3,21	3,67	3,79
Slovenya	SVN	19	35	3,31	3,42	3,26	3,19	3,05	3,27	3,70
Estonya	EST	20	36	3,31	3,32	3,10	3,26	3,15	3,21	3,80
Yunanistan	GRC	21	42	3,20	2,84	3,17	3,30	3,06	3,18	3,66
Kıbrıs	CYP	22	45	3,15	3,05	2,89	3,15	3,00	3,15	3,62
Türkiye	TUR	23	47	3,15	2,71	3,21	3,06	3,05	3,23	3,63
Hırvatistan	HRV	24	49	3,10	2,98	3,01	2,93	3,10	3,01	3,59
Bulgaristan	BGR	25	52	3,03	2,94	2,76	3,23	2,88	3,02	3,31
Slovakya	SVK	26	53	3,03	2,79	3,00	3,10	3,14	2,99	3,14
Litvanya	LTU	27	54	3,02	2,85	2,73	2,79	2,96	3,12	3,65
Malta	MLT	28	69	2,81	2,70	2,90	2,70	2,80	2,80	3,01
Letonya	LVA	29	70	2,81	2,80	2,98	2,74	2,69	2,79	2,88

## 2.1. Entropi Yöntemi

Araştırmada kullanılan kriterlerinin önem derecelerinin başka bir ifadeyle ağırlıklarının belirlenmesi problem çözüm aşamasında çok önemli bir aşamayı oluşturmaktadır. Kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesinde nesnel ya da öznel çok sayıda yaklaşım bulunmaktadır (Işık, 2019:47). Literatürdeki çalışmalarda sıklıkla kullanılan kriterlerin eşit olarak ağırlıklandırılması veya uzmanlar tarafından ağırlıklandırılması, karar verenlerin görüşlerini temel alan subjektif ağırlıklandırma yöntemleridir. Buna karşın Entropi yöntemi karar vericinin görüşlerine bağlı olmayan objektif bir yöntemdir. Literatürdeki çalışmalarda gerçekleştirilen analizlerin güvenilirliğini ve nesnellliğini artırmak amacıyla, kriterlerin ağırlıklandırılması yapılırken Entropi yöntemi tercih edilmektedir (Wu vd., 2011:5163; Yıldırım vd., 2018:137-138). Özellikle sosyal bilimlerde Entropi ağırlıklandırma yöntemi kriter ağırlıklarının tespit edilmesinde sıklıkla kullanılmaktadır (Kenger ve Organ, 2017:155). Entropi Yöntemi 5 aşamadan oluşmaktadır uygulama aşamaları aşağıda verilmiştir (Işık, 2019:47; Zhang vd., 2011:444; Li vd., 2011:2087; Karami, 2014:523-524; Wang, 2009:8982).

**Aşama 1.** Entropi yönteminin ilk aşamasında eşitlik (1) yardımıyla oluşturulan karar matrisi oluşturulur. Karar matrisi n kriterden m alternatiften oluşan  $m \times n$  tipinde bir matristir. Buradaki  $a_{ij}$  terimleri i. alternatif bakımından j. kriterin değerini belirtir. Bu durumda A karar matrisi aşağıdaki gibidir.

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

**Aşama 2.** Entropi yönteminin bu adımında karar matrisi ortak bir birime dönüştürülmek amacıyla normalize edilir. Bu adımda kriterler fayda ve maliyet fonksiyonları ayırt etmeksizin eşitlik (2) yardımıyla normalize edilir. Normalizasyon işlemi sonucunda  $R[r_{ij}]_{m \times n}$  matrisi oluşturulur.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}}, \quad (i=1, 2, 3, \dots, m, \quad j=1, 2, 3, \dots, n) \quad (2)$$

**Aşama 3.** Kriterlere ilişkin Entropi değerlerinin ( $e_j$ ) hesaplanmasıdır. Bu notasyonda,  $e_j$ . Kriterinin entropi değerini göstermektedir ve  $0 \leq e_j \leq 1$  arasında yer almaktadır.

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n r_{ij} \ln(r_{ij}), \quad (i=1, 2, 3, \dots, m \text{ ve } j=1, 2, 3, \dots, n) \quad (3)$$

**Aşama 4.** Bilginin farklılaşma derecesinin ( $d_j$ ) tespit edilmesidir. Bu adımda hesaplanan  $d_j$  değerlerinin yüksek olması kriterlere ilişkin alternatif değerleri arasında karışıklığın yoğunluğunu başka bir deyişle farklılığın fazla olduğunu göstermektedir.

$$d_j = 1 - e_j \quad (i=1, 2, 3, \dots, m \text{ ve } j, \quad i=1, 2, 3, \dots, n) \quad (4)$$

**Aşama 5.** Kriterlere ait Entropi ağırlıklarının ( $w_j$ ) belirlenmesidir. Bu durumda  $w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_j = 1$  eşitliği geçerli olur.

$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{i=1}^n 1 - e_j} \quad (5)$$

## 2.2. EDAS Yöntemi

EDAS yöntemi ÇKKV yöntemlerinden biri olup Ghorabae, Zavadskas, Olfat ve Turskis tarafından geliştirilmiştir. EDAS yöntemi, karar verme aşamalarında alternatifler arasından en optimal olanın tespit edilmesinde ortalama çözüm uzaklığına dayalı değerlendirmeleri kullanmaktadır (Akbulut, 2019:254). EDAS yönteminin uygulama aşamaları aşağıdaki gibidir (Zavadskas vd., 2019:257-258; Schitea vd., 2019; Ghorabae vd., 2015:438-441; Akbulut, 2019:254-257).

**Aşama 1.** Karar matrisi oluşturulmasıdır. EDAS yönteminin ilk aşamasında diğer ÇKKV yöntemlerinde de olduğu gibi  $n$  tane kriter ve  $m$  tane alternatifin olduğu karar matrisi  $n \times m$  boyutlu olarak oluşturulur.

$$X = [X_{ij}]_{n \times m} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (6)$$

**Aşama 2.** Ortalama değerler matrisinin ( $AV_j$ ) oluşturulmasıdır. EDAS yönteminin ikinci aşamasında Eşitlik (8) kullanarak belirlenen değerlendirme kriterleriyle ilgili ortalama çözüm matrisleri oluşturulur.

$$AV = [AV_j]_{1 \times m} \quad (7)$$

$$AV_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij}}{n} \quad (8)$$

**Aşama 3.** Ortalamadan pozitif ve negatif uzaklık matrislerinin oluşturulmasıdır. Bu aşamada kriterleriyle ilgili olarak ortalamadan pozitif uzaklık matrisi (PDA) ve ortalamadan negatif uzaklık matrisi (NDA) oluşturulur. Bu değerlerin hesaplanmasından önce kriterlerin fayda veya maliyet özelliklerine dikkat etmek gerekmektedir. Çünkü hesaplamalar fayda veya maliyet özelliklerine göre farklılık göstermektedir.

$$PDA = [PDA_{ij}]_{n \times m} \quad (9)$$

$$NDA = [NDA_{ij}]_{n \times m} \quad (10)$$

Yukarıdaki eşitliklerde (9) (10) PDA, i. alternatifin j. kriter bakımından ortalama çözüme olan pozitif uzaklığını, NDA ise i. alternatifin j. kriter bakımından ortalama çözüme olan negatif uzaklığını ifade etmektedir. Fayda yönlü kriterler için Eşitlik (11) ve (12) kullanılarak hesaplanır.

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (X_{ij} - AV_j))}{AV_j} \quad (11)$$

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j - X_{ij}))}{AV_j} \quad (12)$$

Maliyet yönlü kriterler için ortalamadan pozitif ve negatif uzaklık değerleri Eşitlik(13) ve (14)'den yararlanılarak hesaplanır.

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j - X_{ij}))}{AV_j} \quad (13)$$

$$NDA_{ij} = \sum_{i=1}^n X_{ij} \frac{\max(0, (X_{ij} - AV_j))}{AV_j} \quad (14)$$

**Aşama 4.** Ağırlıklı toplam değerlerin hesaplanmasıdır. Bu aşamada ağırlıklı toplam pozitif uzaklıklar ( $SP_i$ ) ve ağırlıklı toplam negatif ( $SN_i$ ) uzaklıklar Eşitlik (15) ve (16) yardımı ile hesaplanmaktadır. Eşitliklerde yer alan  $w_j$  her bir değerlendirme kriterinin önem ağırlığını ifade etmektedir.

$$SP_i = \sum_{j=1}^n w_j PDA_{ij} \quad (15)$$

$$SN_i = \sum_{j=1}^n w_j NDA_{ij} \quad (16)$$

**Aşama 5.** Ağırlıklı toplam uzaklıkların normalize edilmesidir. Tüm alternatiflere ait ağırlıklandırılmış ve normalize edilmiş  $NSP_i$  ve  $NSN_i$  değerleri Eşitlik (17) ve (18) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$NSP_i = \frac{SP_i}{\max(SP_i)} \quad (17)$$

$$NSN_i = 1 - \frac{SN_i}{\max(SN_i)} \quad (18)$$

**Aşama 6.** Her bir alternatife ilişkin başarı skorlarının hesaplanmasıdır. Yöntemin son aşamasında bir önceki aşamada hesaplanan  $NSP_i$  ve  $NSN_i$  değerlerinin ortalaması alınarak her bir alternatif için performans değerlendirmede kullanılacak başarı skorları  $AS_i$  Eşitlik (19) kullanılarak elde edilmektedir. Burada en yüksek  $AS_i$  değerine sahip alternatif en iyi alternatif olarak değerlendirilir.

$$AS_i = \frac{1}{2} (NSN_i + NSP_i) \quad (19)$$

Her karar alternatifi için hesaplanan değerlendirme skorları 0 ile 1 arasında değer alacaktır. Hesaplamalar sonucunda en yüksek skora sahip karar alternatifi en iyi alternatif olarak belirlenecektir.

## 4. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışmanın bu bölümünde ülkelerin lojistik performanslarının karşılaştırılmasında kullanılan kriterlerin önem dereceleri (ağırlıkları) seçilen ülkelerin 2018 yılı verileri kullanılarak ENTROPİ yöntemiyle belirlenmiş ve elde edilen bulgular sırasıyla sunulmuştur. Sonrasında Türkiye ile Avrupa Birliğine üye 27 ülkenin lojistik performans seviyelerine göre ENTROPİ yöntemiyle belirlenen kriterler ağırlıkları kullanılarak EDAS yöntemiyle sıralanmış ve elde edilen bulgular sırasıyla sunulmuştur.

### 4.1. ENTROPİ Yöntemi Bulguları

Ülkelerin lojistik performans seviyelerinin karşılaştırılmasında kullanılan kriterlerin önem derecelerinin objektif olarak belirlenmesi için uygulanan ENTROPİ yönteminin uygulama adımlarında aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

**Adım 1.** Entropi yöntemi karar matrisinin oluşturulması. Entropi yönteminde de tüm çok kriterli karar verme yöntemlerinde olduğu gibi ilk aşamada karar matrisi oluşturulmaktadır. Karar matrisi 29 alternatiften ve 6 kriterden oluşan 29x6 tipinde bir matristir. A karar matrisi Tablo 3'te gibidir.

Tablo 3. ENTROPİ Yöntemine İlişkin Karar Matrisi

Ülke Kodu	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>
DEU	4,09	4,37	3,86	4,31	4,24	4,39
SWE	4,05	4,24	3,92	3,98	3,88	4,28
BEL	3,66	3,98	3,99	4,13	4,05	4,41
AUT	3,71	4,18	3,88	4,08	4,09	4,25



<i>NLD</i>	3,92	4,21	3,68	4,09	4,02	4,25
<i>DNK</i>	3,92	3,96	3,53	4,01	4,18	4,41
<i>GBR</i>	3,77	4,03	3,67	4,05	4,11	4,33
<i>FIN</i>	3,82	4	3,56	3,89	4,32	4,28
<i>FRA</i>	3,59	4	3,55	3,84	4	4,15
<i>ESP</i>	3,62	3,84	3,83	3,8	3,83	4,06
<i>ITA</i>	3,47	3,85	3,51	3,66	3,85	4,13
<i>NOR</i>	3,52	3,69	3,43	3,69	3,94	3,94
<i>CZE</i>	3,29	3,46	3,75	3,72	3,7	4,13
<i>PRT</i>	3,17	3,25	3,83	3,71	3,72	4,13
<i>LUX</i>	3,53	3,63	3,37	3,76	3,61	3,9
<i>POL</i>	3,25	3,21	3,68	3,58	3,51	3,95
<i>IRL</i>	3,36	3,29	3,42	3,6	3,62	3,76
<i>HUN</i>	3,35	3,27	3,22	3,21	3,67	3,79
<i>SVN</i>	3,42	3,26	3,19	3,05	3,27	3,7
<i>EST</i>	3,32	3,1	3,26	3,15	3,21	3,8
<i>GRC</i>	2,84	3,17	3,3	3,06	3,18	3,66
<i>CYP</i>	3,05	2,89	3,15	3	3,15	3,62
<i>TUR</i>	2,71	3,21	3,06	3,05	3,23	3,63
<i>HRV</i>	2,98	3,01	2,93	3,1	3,01	3,59
<i>BGR</i>	2,94	2,76	3,23	2,88	3,02	3,31
<i>SVK</i>	2,79	3	3,1	3,14	2,99	3,14
<i>LTU</i>	2,85	2,73	2,79	2,96	3,12	3,65
<i>MLT</i>	2,7	2,9	2,7	2,8	2,8	3,01
<i>LVA</i>	2,8	2,98	2,74	2,69	2,79	2,88
<b>Sütun Toplamı</b>	97,49	101,47	99,13	101,99	104,11	112,53

**Adım 2.** Normalize edilmiş karar matrisinin elde edilmesi. Bu adımda karar matrisi eşitlik (2) yardımıyla fayda ve maliyet özelliklerine göre normalize edilmiştir. Başka bir deyişle, her bir alternatife ait sütun değeri sütun toplamına bölünerek normalize edilmiş elde edilen değerler Tablo 4'te sunulmuştur.

*Tablo 4. Entropi Yöntemine Göre Normalize Edilmiş Karar Matrisi*

Ülke	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>
<i>DEU</i>	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
<i>SWE</i>	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
<i>BEL</i>	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
<i>AUT</i>	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
<i>NLD</i>	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
<i>DNK</i>	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
<i>GBR</i>	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
<i>FIN</i>	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
<i>FRA</i>	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
<i>ESP</i>	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
<i>ITA</i>	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
<i>NOR</i>	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04
<i>CZE</i>	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04
<i>PRT</i>	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04
<i>LUX</i>	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03
<i>POL</i>	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04
<i>IRL</i>	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03

HUN	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03
SVN	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
EST	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
GRC	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
CYP	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
TUR	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
HRV	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
BGR	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
SVK	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
LTU	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
MLT	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
LVA	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03

**Adım 3.** Kriterlere ilişkin entropi değerlerinin hesaplanması. Bu aşamada Tablo 5'teki normalize karar matrisinden yararlanılarak tüm kriterlerin entropi değeri belirlenmiştir. Entropi değerlerinin belirlenmesinde Tablo 4'teki normalize karar matrisindeki her bir değer ile bu değer logaritma değeri çarpılmıştır. Daha sonra Eşitlik (3) kullanılarak sütun toplamı alınmış tüm kriterlerin entropi değerleri ( $e_j$ ) hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5. Kriterlere İlişkin Entropi Değerlerinin Hesaplanması

Ülke	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>
DEU	-0,133	-0,135	-0,126	-0,134	-0,130	-0,127
SWE	-0,132	-0,133	-0,128	-0,127	-0,123	-0,124
BEL	-0,123	-0,127	-0,129	-0,130	-0,126	-0,127
AUT	-0,124	-0,131	-0,127	-0,129	-0,127	-0,124
NLD	-0,129	-0,132	-0,122	-0,129	-0,126	-0,124
DNK	-0,129	-0,127	-0,119	-0,127	-0,129	-0,127
GBR	-0,126	-0,128	-0,122	-0,128	-0,128	-0,125
FIN	-0,127	-0,127	-0,119	-0,125	-0,132	-0,124
FRA	-0,122	-0,127	-0,119	-0,123	-0,125	-0,122
ESP	-0,122	-0,124	-0,126	-0,123	-0,121	-0,120
ITA	-0,119	-0,124	-0,118	-0,119	-0,122	-0,121
NOR	-0,120	-0,121	-0,116	-0,120	-0,124	-0,117
CZE	-0,114	-0,115	-0,124	-0,121	-0,119	-0,121
PRT	-0,111	-0,110	-0,126	-0,121	-0,119	-0,121
LUX	-0,120	-0,119	-0,115	-0,122	-0,117	-0,117
POL	-0,113	-0,109	-0,122	-0,118	-0,114	-0,118
IRL	-0,116	-0,111	-0,116	-0,118	-0,117	-0,114
HUN	-0,116	-0,111	-0,111	-0,109	-0,118	-0,114
SVN	-0,118	-0,110	-0,111	-0,105	-0,109	-0,112
EST	-0,115	-0,107	-0,112	-0,107	-0,107	-0,114
GRC	-0,103	-0,108	-0,113	-0,105	-0,107	-0,111
CYP	-0,108	-0,101	-0,110	-0,104	-0,106	-0,111
TUR	-0,100	-0,109	-0,107	-0,105	-0,108	-0,111
HRV	-0,107	-0,104	-0,104	-0,106	-0,102	-0,110
BGR	-0,106	-0,098	-0,112	-0,101	-0,103	-0,104
SVK	-0,102	-0,104	-0,108	-0,107	-0,102	-0,100
LTU	-0,103	-0,097	-0,100	-0,103	-0,105	-0,111
MLT	-0,099	-0,102	-0,098	-0,099	-0,097	-0,097
LVA	-0,102	-0,104	-0,099	-0,096	-0,097	-0,094
$e_j$	0,998	0,997	0,998	0,997	0,998	0,998

$(1-e_j)$	0,002	0,003	0,002	0,003	0,002	0,002
$w_j$	0,164	0,216	0,123	0,193	0,177	0,127

**Adım 4.** Bilginin farklılaşma derecesinin hesaplanması. Bir önceki adımdan bulunana her bir entropi ( $e_j$ ) değeri 1 sayısından çıkarılmış ve eşitlik (4) yardımıyla “1-  $e_j$ ” değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Tablo 6’da sunulmuştur.

**Adım 5.** Kriter ağırlıklarının hesaplanması. Entropi yönteminde son adım kriter ağırlıklarının belirlenmesidir. Bu adımda her bir kriterin ağırlıkları eşitlik (5) yardımıyla elde edilmiştir. Başka bir ifadeyle 1-  $e_j$  değerleri 1-  $e_j$  değerlerinin satır toplamına bölünmüş ve her bir kriterin ağırlıkları hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Tablo 6’da sunulmuştur.

Kriter ağırlıkları (önem dereceleri) (5) numaralı formül kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 6’da gösterilmiştir. Kriterler önem derecelerine göre  $K_1$  (gümrükler),  $K_2$  (altyapı),  $K_4$  (lojistik yetkinlik),  $K_5$  (yük izleme ve takip edilebilirlik),  $K_6$  (zamanlama) ve  $K_3$  (uluslararası sevkیاتlar) biçiminde sıralanmaktadır.

Tablo 6. Kriter Ağırlıkları (Önem Dereceleri)

	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$
$e_j$	0,998	0,997	0,998	0,997	0,998	0,998
$(1-e_j)$	0,002	0,003	0,002	0,003	0,002	0,002
$w_j$	0,164	0,216	0,123	0,193	0,177	0,127

## 4.2. EDAS Yöntemi Bulguları

Türkiye ile Avrupa Birliği ülkelerinin (Almanya, İsveç, Belçika, Avusturya, Hollanda, Danimarka, Birleşik Krallık, Finlandiya, Fransa, İspanya, İtalya, Norveç, Çekya, Portekiz, Lüksemburg, Polonya, İrlanda, Macaristan, Slovenya, Estonya, Yunanistan, Kıbrıs, Hırvatistan, Bulgaristan, Slovak Cumhuriyeti, Litvanya, Malta ve Letonya) lojistik performanslarının karşılaştırıldığı EDAS yöntemi uygulama adımlarında aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

**Aşama 1.** Karar matrisi oluşturulması. EDAS yönteminin ilk aşamasında diğer ÇKKV yöntemlerinde de olduğu gibi 6 tane kriter ve 28 tane alternatiften oluşan karar matrisi 28x6 boyutlu olarak oluşturulmuştur. Tüm kriterler alternatifler ve kriter ağırlıklarının içeren birleştirilmiş karar matrisi Tablo 7’de gösterilmiştir.

**Aşama 2.** Ortalama değerler matrisinin ( $AV_j$ ) oluşturulması. EDAS yönteminin ikinci aşamasında Eşitlik (8) kullanarak belirlenen değerlendirme kriterleriyle ilgili ortalama çözüm matrisleri oluşturulmuştur. Elde edilen değerler karar matrisi Tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 7. Birleştirilmiş Karar Matrisi

	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$
<b>Kriterlerin Ağırlıkları</b>	<b>0,143</b>	<b>0,188</b>	<b>0,107</b>	<b>0,168</b>	<b>0,154</b>	<b>0,110</b>
	<b>Fayda</b>	<b>Fayda</b>	<b>Fayda</b>	<b>Fayda</b>	<b>Fayda</b>	<b>Fayda</b>
<b>Ülke\Kriter</b>	<b><math>K_1</math></b>	<b><math>K_2</math></b>	<b><math>K_3</math></b>	<b><math>K_4</math></b>	<b><math>K_5</math></b>	<b><math>K_6</math></b>
DEU	4,09	4,37	3,86	4,31	4,24	4,39
SWE	4,05	4,24	3,92	3,98	3,88	4,28
BEL	3,66	3,98	3,99	4,13	4,05	4,41
AUT	3,71	4,18	3,88	4,08	4,09	4,25
NLD	3,92	4,21	3,68	4,09	4,02	4,25
DNK	3,92	3,96	3,53	4,01	4,18	4,41
GBR	3,77	4,03	3,67	4,05	4,11	4,33
FIN	3,82	4	3,56	3,89	4,32	4,28
FRA	3,59	4	3,55	3,84	4	4,15
ESP	3,62	3,84	3,83	3,8	3,83	4,06
ITA	3,47	3,85	3,51	3,66	3,85	4,13
NOR	3,52	3,69	3,43	3,69	3,94	3,94
CZE	3,29	3,46	3,75	3,72	3,7	4,13
PRT	3,17	3,25	3,83	3,71	3,72	4,13
LUX	3,53	3,63	3,37	3,76	3,61	3,9
POL	3,25	3,21	3,68	3,58	3,51	3,95
IRL	3,36	3,29	3,42	3,6	3,62	3,76

HUN	3,35	3,27	3,22	3,21	3,67	3,79
SVN	3,42	3,26	3,19	3,05	3,27	3,7
EST	3,32	3,1	3,26	3,15	3,21	3,8
GRC	2,84	3,17	3,3	3,06	3,18	3,66
CYP	3,05	2,89	3,15	3	3,15	3,62
TUR	2,71	3,21	3,06	3,05	3,23	3,63
HRV	2,98	3,01	2,93	3,1	3,01	3,59
BGR	2,94	2,76	3,23	2,88	3,02	3,31
SVK	2,79	3	3,1	3,14	2,99	3,14
LTU	2,85	2,73	2,79	2,96	3,12	3,65
MLT	2,7	2,9	2,7	2,8	2,8	3,01
LVA	2,8	2,98	2,74	2,69	2,79	2,88
AV <sub>j</sub>	3,361	3,499	3,418	3,516	3,590	3,880

**Aşama 3.** Ortalamadan pozitif ve negatif uzaklık matrislerinin oluşturulması. Bu aşamada kriterleriyle ilgili olarak ortalamadan pozitif uzaklık matrisi (PDA) ve ortalamadan negatif uzaklık matrisi (NDA) oluşturulur. Tüm kriterler fayda özelliği göstermektedir. Bu nedenle Ortalamadan pozitif uzaklık matrisi (PDA) Eşitlik (11) hesaplanmış ve Tablo 8’de gösterilmiştir.

Tablo 8. Ortalamadan Pozitif Uzaklık (Pdij) Değerleri

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>
DEU	0,217	0,249	0,129	0,226	0,181	0,131
SWE	0,205	0,212	0,147	0,132	0,081	0,103
BEL	0,089	0,137	0,167	0,174	0,128	0,136
AUT	0,104	0,195	0,135	0,160	0,139	0,095
NLD	0,166	0,203	0,077	0,163	0,120	0,095
DNK	0,166	0,132	0,033	0,140	0,164	0,136
GBR	0,121	0,152	0,074	0,152	0,145	0,116
FIN	0,136	0,143	0,041	0,106	0,203	0,103
FRA	0,068	0,143	0,039	0,092	0,114	0,069
ESP	0,077	0,097	0,120	0,080	0,067	0,046
ITA	0,032	0,100	0,027	0,041	0,072	0,064
NOR	0,047	0,055	0,003	0,049	0,097	0,015
CZE	0,000	0,000	0,097	0,058	0,031	0,064
PRT	0,000	0,000	0,120	0,055	0,036	0,064
LUX	0,050	0,037	0,000	0,069	0,006	0,005
POL	0,000	0,000	0,077	0,018	0,000	0,018
IRL	0,000	0,000	0,001	0,024	0,008	0,000
HUN	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022	0,000
SVN	0,017	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
EST	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
GRC	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CYP	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
TUR	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
HRV	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
BGR	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SVK	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
LTU	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
MLT	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
LVA	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tüm kriterler fayda özelliği göstermektedir. Bu nedenle ortalamadan negatif uzaklık matrisi (NDA) Eşitlik (12) hesaplanmış ve Tablo 9’da gösterilmiştir.

Tablo 9. Ortalamadan Negatif Uzaklık (N<sub>dij</sub>) Değerleri

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>
DEU	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SWE	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
BEL	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
AUT	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
NLD	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
DNK	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
GBR	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FIN	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FRA	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ESP	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ITA	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
NOR	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CZE	0,021	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000
PRT	0,057	0,071	0,000	0,000	0,000	0,000
LUX	0,000	0,000	0,014	0,000	0,000	0,000
POL	0,033	0,083	0,000	0,000	0,022	0,000
IRL	0,001	0,060	0,000	0,000	0,000	0,031
HUN	0,003	0,065	0,058	0,087	0,000	0,023
SVN	0,000	0,068	0,067	0,133	0,089	0,046
EST	0,012	0,114	0,046	0,104	0,106	0,021
GRC	0,155	0,094	0,035	0,130	0,114	0,057
CYP	0,093	0,174	0,078	0,147	0,123	0,067
TUR	0,194	0,083	0,105	0,133	0,100	0,065
HRV	0,114	0,140	0,143	0,119	0,162	0,075
BGR	0,125	0,211	0,055	0,181	0,159	0,147
SVK	0,170	0,143	0,093	0,107	0,167	0,191
LTU	0,152	0,220	0,184	0,158	0,131	0,059
MLT	0,197	0,171	0,210	0,204	0,220	0,224
LVA	0,167	0,148	0,198	0,235	0,223	0,258

**Aşama 4.** Ağırlıklı toplam değerlerin hesaplanması. Uygulamanın bir önceki aşamasında ENTROPİ yöntemi kullanılarak belirlenen kriter ağırlıkları ile Tablo 8’deki her bir değer çarpılarak hesaplanan ağırlıklandırılmış ortalamadan Pozitif uzaklıkların matrisi ve Ağırlıklı toplam pozitif uzaklıklar (SP<sub>i</sub>) uzaklıklar Eşitlik (15) yardımı ile hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Tablo 10’da gösterilmiştir.

Tablo 10. Ağırlıklandırılmış Ortalamadan Pozitif Uzaklıklar Matrisi

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>	SP <sub>i</sub>
DEU	0,036	0,054	0,016	0,043	0,032	0,017	0,197
SWE	0,034	0,046	0,018	0,025	0,014	0,013	0,150
BEL	0,015	0,030	0,021	0,034	0,023	0,017	0,138
AUT	0,017	0,042	0,017	0,031	0,025	0,012	0,143
NLD	0,027	0,044	0,009	0,031	0,021	0,012	0,145
DNK	0,027	0,028	0,004	0,027	0,029	0,017	0,133
GBR	0,020	0,033	0,009	0,029	0,026	0,015	0,131
FIN	0,022	0,031	0,005	0,020	0,036	0,013	0,128
FRA	0,011	0,031	0,005	0,018	0,020	0,009	0,094



ESP	0,013	0,021	0,015	0,016	0,012	0,006	0,082
ITA	0,005	0,022	0,003	0,008	0,013	0,008	0,059
NOR	0,008	0,012	0,000	0,009	0,017	0,002	0,049
CZE	0,000	0,000	0,012	0,011	0,005	0,008	0,037
PRT	0,000	0,000	0,015	0,011	0,006	0,008	0,040
LUX	0,008	0,008	0,000	0,013	0,001	0,001	0,031
POL	0,000	0,000	0,009	0,003	0,000	0,002	0,015
IRL	0,000	0,000	0,000	0,005	0,001	0,000	0,006
HUN	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,004
SVN	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003
EST	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
GRC	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CYP	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
TUR	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
HRV	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
BGR	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SVK	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
LTU	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
MLT	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
LVA	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

ENTROPİ yöntemi kullanılarak belirlenen kriter ağırlıkları ile Tablo 9'daki her bir değer çarpılarak hesaplanan ağırlıklandırılmış ortalamadan negattif uzaklıkların matrisi ve ağırlıklı toplam pozitif uzaklıklar ( $SP_i$ ) uzaklıklar Eşitlik (16) yardımı ile hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Tablo 11'de gösterilmiştir.

Tablo 11. Ağırlıklandırılmış Ortalamadan Negatif Uzaklıklar Matrisi







	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$SN_i$
DEU	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SWE	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
BEL	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
AUT	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
NLD	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
DNK	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
GBR	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FIN	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FRA	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ESP	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ITA	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
NOR	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CZE	0,004	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006
PRT	0,009	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,025
LUX	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002
POL	0,005	0,018	0,000	0,000	0,004	0,000	0,027
IRL	0,000	0,013	0,000	0,000	0,000	0,004	0,017
HUN	0,001	0,014	0,007	0,017	0,000	0,003	0,042
SVN	0,000	0,015	0,008	0,026	0,016	0,006	0,070
EST	0,002	0,025	0,006	0,020	0,019	0,003	0,074
GRC	0,025	0,020	0,004	0,025	0,020	0,007	0,103
CYP	0,015	0,038	0,010	0,028	0,022	0,009	0,121
TUR	0,032	0,018	0,013	0,026	0,018	0,008	0,114

HRV	0,019	0,030	0,018	0,023	0,029	0,009	0,127
BGR	0,021	0,046	0,007	0,035	0,028	0,019	0,155
SVK	0,028	0,031	0,011	0,021	0,030	0,024	0,145
LTU	0,025	0,048	0,023	0,031	0,023	0,008	0,156
MLT	0,032	0,037	0,026	0,039	0,039	0,028	0,202
LVA	0,027	0,032	0,024	0,045	0,039	0,033	0,201

Tablo 10'daki her bir ülkeye ait ortalamadan pozitif uzaklıkların ağırlıklı toplamlarına ( $SP_i$ ) Eşitlik (17) yardımı ile normalizasyon ( $NSP_i$ ) işlemi yapılmıştır. Elde edilen  $NSP_i$  değerleri Tablo 12'de gösterilmiştir. Tablo 11'teki her bir ülkeye ait ortalamadan negatif uzaklıkların ağırlıklı toplamlarına ( $SN_i$ ) Eşitlik (18) ile normalizasyon ( $NSN_i$ ) yapılmıştır. Elde edilen  $NSN_i$  değerleri Tablo 12'de gösterilmiştir. Her bir alternatif ülkeye ait değerlendirme puanları ( $AS_i$ ) Eşitlik (18) yardımıyla hesaplanmıştır. Ası değerleri ile bu değerlerin sıralaması Tablo 12'de gösterilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre sıralama; Almanya, İsveç, Danimarka, Hollanda, Avusturya, Belçika, Birleşik Krallık, Finlandiya, Fransa, İspanya, İtalya, Norveç, Çekya, Lüksemburg, Portekiz, Polonya, İrlanda, Macaristan, Slovenya, Estonya, Yunanistan, Türkiye, Kıbrıs, Hırvatistan, Litvanya, Bulgaristan, Slovakya, Malta ve Letonya biçimindedir. Almanya ve İsveç yine ilk iki sırada yer almaktadır. Türkiye'nin sırası LPI'ye göre örnekleme 23. Sırada yer alırken analiz sonucunda 22 sıraya yükselmiştir. Almanya ve İsveç Örnekleme LPI sırasıyla EDAS yöntemine göre yapılan analiz sonucunda yapılan sıralama arasında fark yoktur.

Tablo 12. Ortalamadan Pozitif ve Negatif Uzaklıkların Ağırlıklı Toplamları, Ağırlıklı Toplamların Normalize Değerleri, Her Bir Ülkeye Ait Değerlendirme Puanları ve Sıralamaları

	Örnekleme LPI Sırası	$SP_i$	$SN_i$	$NSP_i$	$NSN_i$	$AS_i$	EDAS Sıra	Değişim
Almanya	1	0,084	0,000	1,000	1,000	1,000	1	Yoktur
İsveç	2	0,067	0,000	0,797	1,000	0,898	2	Yoktur
Belçika	3	0,059	0,000	0,701	1,000	0,850	6	
Avusturya	4	0,059	0,000	0,703	1,000	0,851	5	
Hollanda	5	0,063	0,000	0,749	1,000	0,875	4	
Danimarka	6	0,063	0,000	0,753	1,000	0,877	3	
Birleşik Krallık	7	0,058	0,000	0,693	1,000	0,847	7	Yoktur
Finlandiya	8	0,058	0,000	0,693	1,000	0,846	8	Yoktur
Fransa	9	0,041	0,000	0,492	1,000	0,746	9	Yoktur
İspanya	10	0,032	0,000	0,387	1,000	0,693	10	Yoktur
İtalya	11	0,029	0,000	0,346	1,000	0,673	11	Yoktur
Norveç	12	0,019	0,000	0,227	1,000	0,613	12	Yoktur
Çekya	13	0,016	0,003	0,185	0,968	0,577	13	Yoktur
Portekiz	14	0,016	0,012	0,195	0,870	0,532	15	
Lüksemburg	15	0,011	0,000	0,131	0,997	0,564	14	
Polonya	16	0,005	0,013	0,059	0,865	0,462	16	Yoktur
İrlanda	17	0,001	0,011	0,013	0,882	0,447	17	Yoktur
Macaristan	18	0,001	0,014	0,015	0,850	0,433	18	Yoktur
Slovenya	19	0,002	0,024	0,018	0,741	0,379	19	Yoktur
Estonya	20	0,000	0,026	0,000	0,725	0,363	20	Yoktur
Yunanistan	21	0,000	0,043	0,000	0,545	0,272	21	Yoktur
Kıbrıs	22	0,000	0,049	0,000	0,478	0,239	23	
Türkiye	23	0,000	0,047	0,000	0,500	0,250	22	
Hırvatistan	24	0,000	0,051	0,000	0,451	0,226	24	Yoktur
Bulgaristan	25	0,000	0,071	0,000	0,246	0,123	26	
Slovakya	26	0,000	0,074	0,000	0,210	0,105	27	
Litvanya	27	0,000	0,061	0,000	0,353	0,177	25	
Malta	28	0,000	0,093	0,000	0,012	0,006	28	Yoktur
Letonya	29	0,000	0,094	0,000	0,000	0,000	29	Yoktur

## 4. Sonuç

Bu çalışmada ülkelerin lojistik faaliyetlerinin performansını kıyaslanabilmesi için dünya bankası tarafından geliştirilen ve 2 yılda bir yayınlanan lojistik performans indeksi (lpi)'nin 2018 yılına ait verilerini kullanarak Avrupa Birliği ülkeleri ile Türkiye'nin lojistik performansını kıyaslanmıştır. Analizlerde çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden ENTROPİ ve EDAS yöntemleri kullanılmıştır. Analizlerde Dünya Bankası tarafından yayınlanan Lojistik Performans İndeksinde yer alan gümrükler, altyapı, uluslararası sevkiyatlar, lojistik yetkinlik, zamanlama (dakiklik) ile yük izleme ve takip edilebilirlik göstergeleri kriter olarak kullanılmıştır. Çalışmada ilk olarak ENTROPİ yöntemleri ile kıyaslamada kullanılacak kriterlerin önem dereceleri (ağırlıkları) belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen kriter ağırlıklarını kullanarak EDAS yöntemiyle Avrupa Birliği ülkeleri ile Türkiye'nin lojistik performanslarına göre sıralamaları yapılmıştır. Ayrıca Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleriyle belirlenen sıralamalar ile Lojistik Performans İndeksinde göre sıralamaların karşılaştırılması yapılmıştır. Böylece kriter ağırlıkları ve mevcut sıralamayla farklılıkları ortaya konmuştur.

Bu çalışmada kullanılan kriterlerin önem derecelerinin ENTROPİ yöntemiyle belirlenmesine yönelik analizler sonucunda kriterlerin önem derecelerine göre sıralanması gümrükler, altyapı, lojistik yetkinlik, yük izleme ve takip edilebilirlik, zamanlama ve uluslararası sevkiyatlar biçimindedir. Bu sonuç ülkelerin lojistik performanslarının kıyaslanmasında en önemli kriterin gümrükler kriteri olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada ENTROPİ yöntemiyle elde edilen kriter sıralaması Gök Kısa ve Ayçin (2019)'un SWARA yöntemiyle yaptığı kriter sıralamasıyla örtüşmemektedir. Bu farklılığın öznel değerlendirme farklılığından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. ENTROPİ yöntemiyle belirlenen kriter ağırlıkları kullanılarak EDAS yöntemiyle gerçekleştirilen analizler sonucunda ülkelerin lojistik performans sıralamaları biçiminde Almanya, İsveç, Danimarka, Hollanda, Avusturya, Belçika, Birleşik Krallık, Finlandiya, Fransa, İspanya, İtalya, Norveç, Çekya, Lüksemburg, Portekiz, Polonya, İrlanda, Macaristan, Slovenya, Estonya, Yunanistan, Türkiye, Kıbrıs, Hırvatistan, Litvanya, Bulgaristan, Slovakya, Malta ve Letonya elde edilmiştir. Örneklemdeki LPI Sırası ile EDAS yöntemiyle gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen sıralamalar karşılaştırıldığında 5 ülke (Hollanda, Danimarka, Lüksemburg, Litvanya ve Türkiye) daha üst sıraya çıkmış, 6 ülke (Belçika, Avusturya, Portekiz, Kıbrıs, Bulgaristan ve Slovakya) daha aşağı sıraya düşmüş ve 19 ülke (Almanya, İsveç, Birleşik Krallık, Finlandiya, Fransa, İspanya, İtalya, Norveç, Çekya, Polonya, İrlanda, Macaristan, Slovenya, Estonya, Yunanistan, Hırvatistan, Malta ve Letonya) sırasını korumuştur. Almanya ve İsveç yine ilk iki sırada yer almaktadır. Türkiye'nin sırası LPI'ye göre örneklemede 23. Sırada yer alırken analiz sonucunda 22 sıraya yükselmiştir. Almanya ve İsveç örneklemedeki LPI sırasıyla EDAS yöntemine göre yapılan analiz sonucunda yapılan sıralama arasında fark yoktur. Bu çalışmada elde edilen ülkelerin lojistik performans sıralamaları Gök Kısa ve Ayçin (2019)'un yaptığı ülkelerin lojistik performans sıralamalarıyla farklılıklar göstermektedir. Bu farklılığın kriter ağırlıklarının yönteminin farklılığından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Türkiye'nin lojistik performans kıyaslamalarında daha üst sıralarda yer alabilmesi için yetkililerin ülkelerin lojistik performans kıyaslamalarında kullanılan en önemli üç kritere (gümrükler, altyapı ve lojistik yetkinlik) gereken önemi vermesi gerekmektedir. Bu bağlamda gümrüklerin iyileştirilmesi, alt yapı olanaklarının ve lojistik yetkinliklerin geliştirilmesi sağlanmalıdır.

Bu çalışmada kullanılan kriterlerin önem dereceleri ENTROPİ yöntemiyle belirlenmiştir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda farklı objektif değerlendirmeye imkan sağlayan başka yöntemlerle ve (ya) öznel değerlendirmeye imkan sağlayan yöntemler kullanılarak yapılırsa farklı sonuçlar elde edilebilir. Sıralama yapılırken EDAS yöntemi kullanılmıştır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda farklı çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri kullanılırsa farklı sonuçlar elde edilebilir.

## Kaynakça

- Aguezzoul, A. ve Pires, S. (2016). 3PL Performance Evaluation and Selection: A MCDM Method. *Supply Chain Forum: An International Journal*, 17(2), 87-94.
- Akbulut, O. Y. (2019). CRITIC ve EDAS Yöntemleri ile İş Bankası'nın 2009-2018 Yılları Arasındaki Performansının Analizi. *Ekonomi, Politika & Finans Araştırmaları Dergisi*, 4(2): 249-263.
- Akbulut, R. ve Rençber, Ö. F. (2015). BİST'te İmalat Sektöründeki İşletmelerin Finansal Performansları Üzerine Bir Araştırma. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, Ocak/2015, 117-136
- Akman, G. & Baynal, K. (2014). Logistics Service Provider Selection Through An Integrated Fuzzy Multicriteria Decision Making Approach. *Journal of Industrial Engineering*, 2014: 1-16.
- Asoğlu, İ. & Eren, T. (2018). AHP, TOPSIS, PROMETHEE Yöntemleri ile Bir İşletme İçin Kargo Şirketi Seçimi. *Yalova Sosyal Bilimler Dergisi*, 8 (16), 102-122.
- Ayrim, Y., Atalay, K. D., & Can, G. F. (2018). A New Stochastic MCDM Approach Based on COPRAS. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 17(03), 857-882.
- Aytekin, M. (2018). *Lojistikte Yatay İşbirliği*. Bursa: Ekin Basın Yayın Dağıtım.
- Bağcı, H. ve Rençber, Ö. F. (2014). Kamu Bankaları ve Halka Açık Özel Bankaların Promethee Yöntemi İle Kârlılıklarının Analizi. *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(1), 39-47.
- Çakır, S. & Perçin, S. (2013). Çok Kriterli Karar Verme Teknikleriyle Lojistik Firmalarında Performans Ölçümü. *Ege Akademik Bakis*, 13(4), 449-459.
- Ecer, F. (2018). Third-party Logistics (3PLs) Provider Selection via Fuzzy AHP and EDAS Integrated Model. *Technological and Economic Development of Economy*, 24(2), 615-634.
- Elgün, M. N., & Aşkoğlu, N. O. (2016). Lojistik Köy Kuruluş Yeri Seçiminde TOPSIS Yöntemiyle Merkezlerin Değerlendirilmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 18(1). 0-0.

- Ghorabae, M. K., Amiri, M., Kazimieras Zavadskas, E. & Antuchevičienė, J. (2017). Assessment of Third-party Logistics Providers using A CRITIC–WASPAS Approach with Interval Type-2 Fuzzy Sets. *Transport*, 32(1), 66-78.
- Ghorabae, M. K., Zavadskas, E. K., Olfat, L., & Turskis, Z. (2015). Multi-criteria inventory classification using a new method of evaluation based on distance from average solution (EDAS). *Informatica*, 26(3), 435-451.
- Gök Kısa, A. & Ayçin, E. (2019). OECD Ülkelerinin Lojistik Performanslarının SWARA Tabanlı EDAS Yöntemi ile Değerlendirilmesi. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(1), 301-325.
- Göleç, A., Gürbüz, F., & Şenyiğit, E. (2016). Determination of Best Military Cargo Aircraft with Multi-Criteria Decision-Making Techniques. *MANAS Journal of Social Studies*, 5(5), 87-101.
- Görener, A. (2014). Depolama Faaliyetleri İçin Lojistik Servis Sağlayıcı Seçiminde Önemli Değerlendirme Kriterlerinin Belirlenmesi, *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 10(22), 173-192.
- Marti, L., Puertas, R. & García, L. (2014). The importance of logistics Performance indeks in International Trade. *Applied Economics*, 46(24), 2982-2992.
- Mirzaei, E., Minatour, Y., Bonakdari, H., & Javadi, A. (2015). Application of Interval-Valued Fuzzy Analytic Hierarchy Process Approach in Selection Cargo Terminals, a Case Study. *International Journal of Engineering-Transactions C: Aspects*, 28(3), 387-395.
- Oğuz, S., Alkan, G. & Yılmaz, B. (2019). Seçilmiş Asya Ülkelerinin Lojistik Performanslarının TOPSİS Yöntemi ile Değerlendirilmesi. *IBAD Sosyal Bilimler Dergisi*, (Özel Sayı), 497-507.
- Özbek, A., Demirkol, İ. (2018). Lojistik Sektöründe Faaliyet Gösteren İşletmelerin SWARA VE GİA Yöntemleri İle Analizi. *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8 (1), 71-86.
- Özbek, A. & Demirkol, İ. (2018). Lojistik Sektöründe Faaliyet Gösteren İşletmelerin SWARA ve GİA Yöntemleri ile Analizi. *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8 (1), 71-86.
- Özbek, A. & Engür, M. (2018). EDAS Yöntemi İle Lojistik Firma Web Sitelerinin Değerlendirilmesi. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi*. 21(2), 417-429.
- Özbek, A. & Eren, T. (2012). Üçüncü Parti Lojistik (3PL) Firmanın Analitik Hiyerarşi Süreciyle (AHS) Belirlenmesi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 4(2), 46-54.
- Özbek, A. (2018). Fortune 500 Listesinde Yer Alan Lojistik Firmaların Değerlendirilmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 20(1), 13-26.
- Özdemir, Ü. & Güneroğlu, A. (2018). Cargo Type Selection Procedure Using Fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS Techniques: 'The Case Of Dry Bulk Cargo Ships. *International Journal of Shipping and Transport Logistics*, 10(3), 259-280.
- Percin, S. (2009). Evaluation of Third-party Logistics (3PL) Providers by using A Two-phase AHP and TOPSIS Methodology. *Benchmarking: An International Journal*, 16(5), 588-604.
- Rençber, Ö. F. (2019). Gri İlişkisel Analiz ve VIKOR Yöntemlerinin Karşılaştırılması: İmalat Sektörü Üzerine Örnek Bir Uygulama. *Journal of Yaşar University*, 14 (Special Issue), 69-81.
- Rençber, Ö. F. ve Avcı, T. (2018). BIST'te İşlem Gören Bankaların Sermaye Yeterliliklerine Göre Karşılaştırılması: WASPAS Yöntemi ile Uygulama. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 6 (ICEESS' 18), 169-175.
- Schitea, D., Deveci, M., Iordache, M., Bilgili, K., Akyurt, İ. Z. & Iordache, I. (2019). Hydrogen Mobility Roll-Up Site Selection Using Intuitionistic Fuzzy Sets Based WASPAS, COPRAS and EDAS, *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(16), 8585-8600.
- Sezen Akar, G. & ÇAKIR, E. (2016). Lojistik Sektöründe Bütünleştirilmiş Bulanık AHP-MOORA Yaklaşımı İle Personel Seçimi, *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 14(2), 185-199.
- Şirin, B. & Emanet, H. (2017). Lojistik Performans Endeksi Kapsamında Orta Asya Türk Cumhuriyetleri'nin Lojistik Performanslarının Analizi Analysis of Logistics Performances of Central Asian Turkish Republics within the Context of Logistics Performance Index. *International Conference on Eurasian Economies 2017*, 302 -309.
- Tüysüz, F., & Şimşek, B. (2017). A Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets-Based AHP Approach for Analyzing The Performance Evaluation Factors: An Application to Cargo Sector. *Complex & Intelligent Systems*, 3(3), 167-175.
- Ulutaş, A. & Karaköy, Ç. (2019). "CRITIC ve ROV Yöntemleri ile Bir Kargo Firmasının 2011-2017 Yılları Sırasındaki Performansının Analiz Edilmesi", *Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 8(1/1): 229-236.
- Ulutaş, A. (2018). ENTROPİ Tabanlı EDAS Yöntemi ile Lojistik Firmalarının Performans Analizi. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, (23), 53-66.
- Ulutaş, A. (2019). ENTROPİ Tabanlı criti Yöntemi ile Lojistik Firmalarının Performans Analizi. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, (23), 53-66.
- Uzun, H. (2013). *Kargo Taşımacılık Sektöründe Hizmet Kalitesinin Değerlendirilmesi: AHS ve TOPSIS Yöntemi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Yapraklı, T. Ş. ve Ünalın, M. (2017). Küresel Lojistik Performans Endeksi ve Türkiye'nin Son 10 Yıllık Lojistik Performansının Analizi, *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 31(3) 589-606.
- Yayla, A. Y., Öztekin, A., Gümüş, A. T. & Gunasekaran, A. (2015). A Hybrid Data Analytic Methodology for 3PL Transportation Provider Evaluation using Fuzzy Multi-Criteria Decision Making. *International Journal of Production Research*, 53(20), 6097-6113.
- Zavadskas, E. K., Stević, Ž., Turskis, Z. & Tomašević, M. (2019). EDAS in Minkowski Space (EDAS-M) Method for Evaluating Autonomous Vehicles. *Studies in Informatics and Control*, 28(3) 255-264.



# Sağlık 4.0'da Giyilebilir Teknolojilerden Sensör Yamalar Üzerine Bir İnceleme

Selma Büyükgöze<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Kırklareli Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Kırklareli, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6559-7704)

(İlk Geliş Tarihi 1 Aralık 2019 ve Kabul Tarihi 31 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.658020)

**ATIF/REFERENCE:** Büyükgöze, S. (2019). Giyilebilir Teknolojilerden Sağlık Alanındaki Sensör Yamalar Üzerine Bir İnceleme. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1239-1247.

## Öz

2011 yılından itibaren ortaya çıkan Endüstri 4.0 kavramını öncelikle sanayi alanında duyarken, aynı zamanda sağlık alanında da etkilerini görmekteyiz. Endüstri 4.0 kavramıyla birlikte gelen otomasyon ve teknolojik gelişmeler; sağlık alanında da Sağlık 4.0 (Health 4.0) kavramının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Sağlık 4.0, sağlık çözümlerinin bireyselleştirilmesi, uç noktalara iletilmesi ve sanallaştırılması önceliğini esas almaktadır. Akıllı telefonların Endüstri 4.0 sürecinde hayatımızdaki aktif rolüyle birlikte; akıllı telefonlarla ortak çalışan giyilebilir teknolojiler de günümüzde insanlar tarafından çokça tercih edilmeye başlanmıştır. Akıllı telefonlarımızla ortak çalışabilen akıllı saatler, akıllı ayakkabılar, vücudumuza yapıştırılan akıllı sensör yamalar, akıllı gözlükler, akıllı kıyafetler giyilebilir teknolojilere örnek olarak verilebilmektedir. Bu giyilebilir teknolojileri kullanmak Sağlık 4.0'daki sağlık çözümlerinin bireyselleştirilmesine olanak sağlamaktadır. Akıllı saatler ile nabzımızı ölçebilir, uyku saatlerimizi kontrol edebiliriz. Akıllı ayakkabılar ile ne kadar yürüdüğümüzü, kaç kalori yaktığımızı görebiliriz. Akıllı kıyafetler ile vücudumuzun sıcaklık seviyesini ayarlamak için vücudumuzu ısıtıp, soğutabiliriz. Akıllı gözlükler ile internete bağlanabilir, okuduğumuz metnin farklı dillerdeki karşılığını bulabiliriz. Hatta görme engelliler için tasarlanan akıllı gözlükler ile kişinin cisimleri daha kolay seçmesi sağlanmaktadır. Beyin sinyallerini ölçmek için kullanılan beyin bilgisayar arayüzleri (BBA) ile de kişilerin beyin sinyalleri ile internete girmeleri, daha önceden hasar gören uzuvlarını sağlıklı bireyler gibi kullanmaları sağlanmaktadır. Akıllı sensör yamalar ile stres seviyemizi ölçebilmekte, glikoz değerimizi öğrenebilmekte, ECG çekebilmekte, ilaçlarımızı ya da aşımızı gerekli dozda alabilmekteyiz. Hatta beynimizin belli bölgelerinin uyarılmasını sağlayarak daha fazla motivasyon sağlayabilmekteyiz. Bu çalışmada son zamanlarda sağlık alanında kullanılan giyilebilir teknolojilerden olan sensör yamalardan bahsedilecek ve hayatımızı nasıl etkilediği ve sağlığımızın devamlılığında nasıl rol aldığı üzerine durulacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Sağlık 4.0, Akıllı Sensör Yamalar, Giyilebilir Teknolojiler.

## A Review of Sensor Patches from Wearable Technologies in Healthcare 4.0

### Abstract

While we first hear about the concept of Industry 4.0 that has emerged since 2011 in the field of industry, we also see its effects in the field of health. Automation and technological developments that come with the concept of Industry 4.0; in the field of health has led to the emergence of the concept of Health 4.0. Health 4.0 is based on the priority of individualizing, delivering and virtualizing health solutions. With the active role of smart phones in our lives in Industry 4.0; wearable technologies working with smart phones are also preferred by people today. Smart watches, smart shoes, smart sensor patches, smart glasses, smart clothes that can work with our smart phones can be given as examples of wearable technologies. Using these wearable technologies allows individualization of health

\* Sorumlu Yazar: Kırklareli Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Kırklareli, Türkiye, ORCID: 0000-0002-6559-7704, [selmabulut@yahoo.com](mailto:selmabulut@yahoo.com)



solutions in Health 4.0. With smart watches, we can measure our pulse and control our sleep times. We can see how much we walk, and how many calories we burn with smart shoes. With smart clothes, we can heat and cool our body to adjust the temperature level of our body. We can connect to the internet with smart glasses, we can find the equivalent of the text we read in different languages. Even the smart glasses designed for the visually impaired allow the person to select objects more easily. Brain computer interfaces (BBA) are used to measure brain signals, allowing people to access the internet with brain signals and to use their previously damaged limbs as healthy individuals. With smart sensor patches, we can measure our stress level, learn our glucose value, take ECG, and take our medication or vaccine at the required dose. We can even provide more motivation by stimulating certain parts of our brain. In this study, we will talk about sensor patches, which are the wearable technologies used in the health field recently, and how they affect our lives and how they play a role in the continuity of our health.

**Keywords:** Health 4.0, Smart Sensor Patches, Wearable Technologies.

## 1. Giriş

“Sağlık 4.0” yaklaşımı güncel literatürde sağlık çözümlerinin bireyselleştirilmesi, uç noktalara iletilmesi ve sanallaştırılması önceliği ile teknolojik ve süreçsel yenilikler sunmaktadır (Büyükgöze ve Dereli, 2018a). Bunların en başında “telesağlık” ve türevleri çözümler, bireylerin “hastane” ortamına gidiş sayılarını azaltmaya yönelik çözümler getirmektedir. Hemen ardından “mobil-sağlık” ile kişiye ve bağlama özel izleme, “akıllı” öneri ve uyarı sistemleri yer almakta, bireylerin normal şartlarda hekim kontrolünde olmadığı kendi ortamlarında gerek yaşam parametreleri gerekse yaşam stili bakımından kontrol altında tutulmasına yardımcı sistemler yer almaktadır (Göktürk, 2018). Bu durumda kişiler giyilebilir teknoloji ile kendi ortamlarında bu kontrolü sağlayabilmektedir.

Teknolojideki gelişmeler ve maliyetlerin düşmesi bireylerin teknolojik araçlara ve uygulamalara olan erişimini arttırmıştır (Demirci, 2019). Böylece bireyler akıllı telefonlara ve onlarla beraber çalışan akıllı saatlere, sensör yamalara ya da akıllı giyilebilir diğer parçalara daha kolay erişmişler ve kullanmaya başlamışlardır. Bu sonuca ulaşmada mobil uygulamalarında payı büyüktür. Bu mobil uygulamalar sayesinde akıllı diye adlandırılan cihazlardan elde edilen veriler, akıllı telefonlardan ya da masaüstü bilgisayarlardan elde edilmektedir. Giyilebilir cihazlar, sensörler, yazılımlar ve farklı kaynaklar arasında bilgi paylaşımı olduğundan Nesnelerin İnterneti (IoT) giyilebilir teknolojinin önemli bir parçasıdır (Aydın, 2019).

Giyilebilir teknolojiler, vücuda yapılandırılabilen, elbise ya da aksesuarların içine yerleştirilebilen tüm elektronik cihazlar olarak tanımlanmaktadır (Aydın, 2019). Bu cihazlar ile bilgisayarlar Nesnelerin interneti (IoT) ile iletişim kurabilmekte ve veriler aktarılabilir. Böylece kişiye ait birçok sağlık verisine ulaşılabilir. Daha sonrasında bu veriler yapay zeka kullanılarak işlenmekte ve kişilerin yaşam standartlarının iyileştirilmesi için kullanılmaktadır (Büyükgöze ve Dereli, 2019a).

Giyilebilir teknoloji ürünleri, birçok durumda kablosuz olarak uzun vadeli veri takibi sağlamak için bir bilgisayara veya akıllı telefona senkronize edilmiş özel elektronik izleme cihazları olarak tasarlanmıştır. Yüzükler, akıllı gözlükler, akıllı saatler, ayakkabılar, bileklik veya bilezik vb. gibi kullanılan nesnelerin çeşitli kısımlarına farklı şekillerde entegre edilebilen, giyilebilen en son teknoloji ürünü bilgisayarlardır.

Giyilebilir teknoloji ürünleri ve piyasası birçok bilim dalı ile birlikte gelişmektedir. Sağlık, eğitim, üretim, güvenlik gibi önemli alanların yanında, günlük aktiviteleri yerine getirme gibi günlük rutinlerde de kullanılmaktadır (Çakır, Aytekin ve Tüminçin, 2018). Bu çalışmamızda ise sağlık alanında kullanılan giyilebilir teknoloji ürünü olan sensör yamalardan bahsedilecektir.

## 2. Giyilebilir Teknoloji Ürünleri

Giyilebilir teknoloji ürünleri birçok alanda karşımıza çıkmaktadır. Genellikle insanlar mobil uygulaması olan ya da akıllı telefonuyla uyum sağlayacak giyilebilir teknoloji ürünlerini tercih etmektedirler. Çoğunlukla kendi akıllı telefonlarının markalarının çıkarmış oldukları akıllı saat ya da akıllı ayakkabılarını uyum sağlaması için tercih etmektedirler. Ancak giyilebilir teknolojik ürünlerin tercih edilmesinin farklı bir boyutu da bulunmaktadır. Özellikle Avrupa ülkelerinde hızla yaşlanan nüfusa bağlı olarak bireylerin sağlıklarını kontrol altında tutma ve sağlıklı kalma durumları Toplum 5.0 ile çözülmeye çalışılmıştır. Toplum 5.0 kavramı, endüstri devrimlerinin sonucu olarak ortaya çıkarılmış bir kavram olup, teknolojinin toplum adına ve faydasına kullanılması mantığına dayanmaktadır (Büyükgöze ve Dereli, 2019b). Teknolojinin sağlık için kullanılması; Toplum 5.0 kavramıyla ortaya atılan 2030 sürdürülebilir kalkınma hedeflerinden 17 maddenin en önemlisi olarak görülmektedir.



Şekil 1. Toplum 5.0 için Sürdürülebilir 17 Kalkınma Hedefi (Fukuyama, 2018)

Şekil 1'de Sürdürülebilir kalkınma hedefleri gösterilmektedir. 3. madde olan; sağlıklı bireyler ve onların sağlıklı kalması için sağlık alanında da giyilebilir teknolojiler kullanılmaktadır (Büyükgöze ve Dereli, 2019c). Bu giyilebilir teknolojiler ise Nesnelerin İnterneti (IoT) ile birbirlerine ve mobil cihazlara bağlanmaktadır. Nesnelerin İnterneti (IoT); kullanıcıların bilgi, veri ve kaynaklarını paylaşmalarını sağlayan sensörler, araçlar, evler ve ev aletleri gibi sayısız nesneyi İnternete bağlayabilmektedir (Wu vd, 2019) .

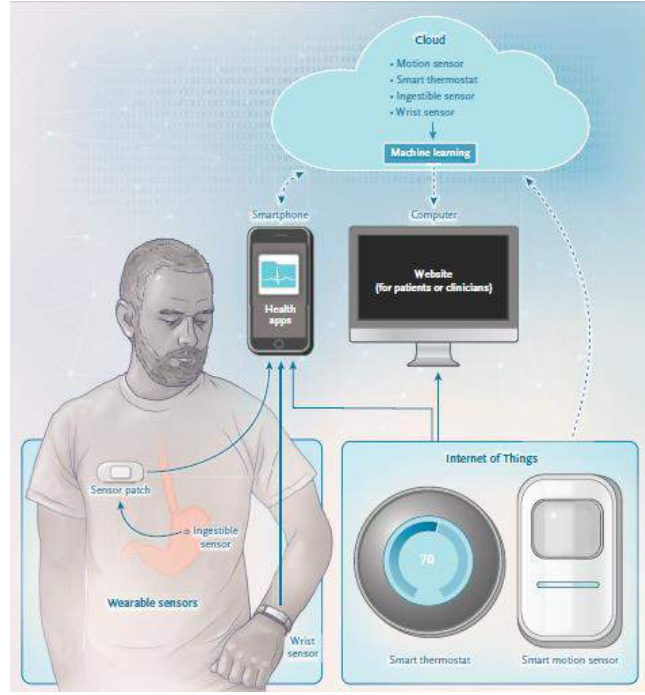
Giyilebilir teknoloji ürünleri, birçok durumda kablosuz olarak uzun vadeli veri takibi sağlamak için bir bilgisayara veya akıllı telefona senkronize edilmiş özel elektronik izleme cihazları olarak tasarlanmıştır. Yüzükler, akıllı gözlükler, akıllı saatler, ayakkabılar, bileklik veya bilezik vb. gibi kullanılan nesnelerin çeşitli kısımlarına farklı şekillerde entegre edilebilen, giyilebilen en son teknoloji ürünü bilgisayarlardır. Örneğin Okuyan Parmak- Finger Reader (Morfikirler, 2018) görme engelli insanlara, herhangi bir metni sesli bir şekilde okuyabilen giyilebilir bir cihazdır.

Giyilebilir teknoloji ürünlerinde genellikle ayakkabılar, saatler, bileklikler kişinin nabzını ölçebilmekte, kaç km yürüdüğünü/kaç kalori yaktığını gösterebilmekte, beslenme konusunda faydalı bilgiler verebilmekte, hatta desteklediği mobil işletim sistemi aracılığıyla mobil uygulamaları ile geçmişe yönelik takiplerde yapılabilmektedirler (Büyükgöze ve Dereli, 2018) .

## 2. 1. Giyilebilir Sensör Yamaları

Genellikle derinin üzerine yapıştırılan ve düzenli olarak veri takibi yapılabilen; içerisinde sensörlerin bulunduğu patchler- yamalardır. Belirli zaman aralıkları için kullanılabilen, mobil uygulaması aracılığıyla verilerin aktarımının yapılabilirdiği ya da yamayla entegre çalışabilen donanımın bulunduğu kitlelerdir. Mobil cihazlarla iletişim kurması ise Nesnelerin İnterneti ile sağlanmaktadır. Kandaki glikoz takibinden, stresinizi ölçmeye, terden elde edilen alkol teşhisine kadar birçok amaç için kullanılmaktadırlar.

Düzenli yapılması gereken ya da takibin gerekli olduğu durumlarda kişinin bu süreci tek başına yapabilmesini sağlamaktadırlar. Örneğin Tip1 diyabetiniz varsa ve alacağınız insülin seviyesini belirlemek istiyorsanız; her öğünden önce kandaki glikoz seviyesine bakmanız gerekmektedir. Bunun için öğün öncesi kan alınmalı ve ölçüm işlemi yapılmalıdır. Bu süreç invaziv ve her hastanın kendi başına yönetemeyeceği bir süreç olabilmektedir. Tam da bu süreçte glikoz seviyesini ölçmek için üretilmiş olan çeşitli sensör yamalar imdadımıza yetişmektedir. Bu amaçla üretilmiş bir kez yapıştırılıp haftalarca kullanabileceğimiz yamalar bulunmaktadır. Su geçirmeyen bu yamalar aracılığıyla kişi günlük hayatına kolaylıkla devam edebilmektedir. Ölçüm sonuçlarını da ya yamanın mobil uygulamasından ya da yamayla beraber gelen ölçüm aracından öğrenebilmekte ve insülinini buna göre yapabilmektedir. Elde edilen bu veriler günlük, haftalık ya da aylık periyotlarda saklanabilmektedir. İstenildiği takdirde bu veriler kişinin doktoruyla da paylaşabilmektedir. Böylece hastalığın seyri de kolayca takip edilebilmektedir. Kişinin bu verileri ve başka hastalardan alınan veriler toplanarak yapay zeka ile işlenmekte ve kişinin hastalığında ilerleme ya da hastalığın durumunun stabilitesi için kullanılabilir. Böylece yeni cihazların geliştirilmesi ya da ilaçların keşfinde bu veriler kullanılabilir (Büyükgöze ve Dereli, 2019d) .



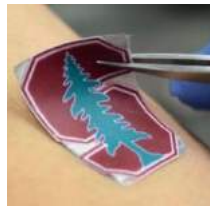
Şekil 2. Giyilebilir Sensör Yamaların ve Nesnelerin İnternetinin Akış Şeması (He vd, 2019) .

Şekil 2, giyilebilir sensörlerin ve Nesnelerin İnterneti'nin veri akışının basitleştirilmiş bir görünümünü sunmaktadır. Şekilde li bilek sensörü, hastanın akıllı telefonuyla Bluetooth üzerinden iletişim kurmaktadır. Telefonda, veriler o sensörün uygulamasında görüntülenebilmekte veya sensörün bulut deposuna gönderilmektedir. Bu bulut deposunda kendisine gönderilen verileri depolamakta ve tahminlemekte, görselleştirmeler veya karar desteği oluşturmak için makine öğrenmesini veya diğer analitik teknikleri uygulamaktadır. Bulut depodan çıkışında ise; daha sonra hastalar, doktorlar veya her ikisinin de erişebileceği bir web sitesinde gösterilebilmektedir. Şekildeki sindirilebilir sensör ise midede etkinleşmektedir. Hastanın göğsündeki bir yamaya bu esnada düşük enerjili bir sinyal gönderilmektedir. Yama, bluetooth üzerinden hastanın akıllı telefonu ile iletişim kurmaktadır. Veri akışının geri kalanı ise bilek sensörününkine benzerdir. Akıllı termostat ve hareket sensörü, Nesnelerin İnterneti'ndeki cihazlardır. Bu cihazlar doğrudan bulutla veya yerel bir ağ veya akıllı ağ geçitleri üzerinden iletişim kurabilmektedir. Dijital biyobelirteç hesaplaması sensörde, akıllı telefonda veya bulutta gerçekleşebilmektedir. Bulutta, veriler algoritmalar tarafından kullanılmak üzere paylaşılabilir ve diğer cihazlardan ve hizmetlerden gelen verilerle birleştirilebilmektedir. Toplanan bu veriler yapay zeka ile işlenerek ilaç keşfi ya da hastalığın görülmeden teşhisinde kullanılabilir.

## 2. 2. Giyilebilir Sensör Yamalarına Örnekler

Sağlık alanında giyilebilir teknolojilerden sensör yamalarına örnek vermek gerekirse;

**Stres Yaması:** Stanford Üniversitesinde bir kişinin stres altında olduğu durumda o kişinin vücudunda üretilen kortizol miktarındaki değişiklik kullanılarak kişinin stress altında olup olmadığını bulan bir yama üretilmiştir (Tekla, 2018) . Şekil 3'de bu yama gösterilmektedir.



Şekil 3. Kortizol Miktarını Ölçen Yama

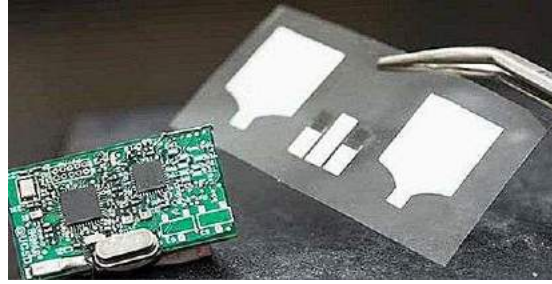
**Ter yaması:** 2018 yılından itibaren zorlu antrenmanlar ve çetin eğitimler gibi vücudu zorlayacak çeşitli koşullarda test edilen bu yama, kullanıcıların sırt bölgelerine takılmaktadır. Vücut kitle kaybı, idrarlarının tuzluluğu ve PH gibi analizleri ve vücut sıcaklığı ölçümü yapmaktadır (GETürkiyeBlog, 2019) . Şekil 4'de bu yama gösterilmektedir.



Şekil 4. Ter yaması

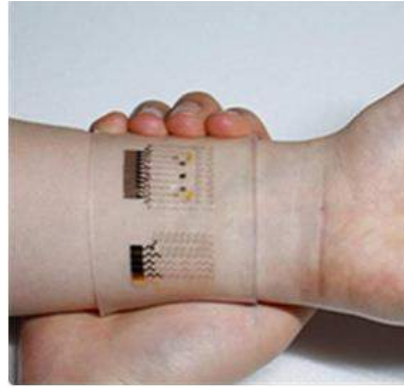
Başka bir yama da sağlıkla ilgili altı biyolojik belirleyicinin (Glikoz, laktat, askorbik asit, ürik asit,  $\text{Na}^+$  ve  $\text{K}^+$ ) eşzamanlı tespiti için ipek kumaştan türetilmiş bir karbon tekstile (SilkNCT) dayanan esnek bir ter analiz yamasıdır. Seçici dedektörlerin bu cihazda sinyal toplama ve aktarma bileşenleriyle entegrasyonu, terin gerçek zamanlı analizinin gerçekleştirilmesini sağlamıştır(He vd, 2019).

**ChemPhys Patch:** Yama, dünya çapında sporcular için kullanılmaktadır. Egzersiz yaparken yorgunluk ve kalp istatistiklerini takip etme yeteneği, spor tıbbı ve fiziksel kondisyon takibinde kullanılmaktadır (Electronics-council, 2019). Şekil 5’de bu yama gösterilmektedir.



Şekil 5. ChemPhys Patch

**Diyabet Ölçen yama:** Nanoparçacık Araştırmaları Merkezi'nden Koreli bilim adamları, grafit ve altından yapılmış, insan terlemesini kullanarak diyabet izlemeyi ve metforminin verilmesini sağlayan giyilebilir bir yama oluşturmuştur (Diabetesqld, 2016) . Şekil 6’de bu yama gösterilmektedir.



Şekil 6. Giyilebilir Diyabet Ölçen yama

Bir başka glikoz ölçen yama da, Abbott’ın iğnesiz glikoz monitörü denilen iki parçalı bir sistemdir. İlk kısım, kolun arkasına takılan tek kullanımlık bir yamadan oluşmaktadır. Bu yama, glikoz ölçümlerinin ölçülmesinden ve depolanmasından sorumludur. Yama, 14 gün boyunca günde 24 saat giyilmek zorundadır. İkinci kısım ise, glikoz okumalarını gösteren el tipi bir cihazdır. Kullanıcılardan, kan şekeri düzeylerini kontrol etmeleri istendiğinde yamaları bir avuç içi cihazıyla taraması istenmektedir. Bu noktada, yama en son glikoz okumasını gösterilmek üzere cihaza iletir. İşlem, kullanıcı için ağrısızdır ve sonucu kaydetmek sadece bir saniye sürmektedir. 14 gün sonra, kullanıcılar tek kullanımlık yamayı atıp yenisiyle değiştirmektedirler(Abbott,2019). Şekil 7’de bu yama gösterilmektedir.





Şekil 7. Abbott iğnesiz glikoz monitörü

Başka bir yamada; New York Eyalet Üniversitesi ve Binghamton Üniversitesi'nden araştırmacılar tarafından geliştirilen yeni bir kağıt bazlı sensör yamasıdır. Diyabetlilerin egzersiz sırasında glikoz düzeylerini doğru bir şekilde ölçmesini sağlamaktadır (NTBoxMag, 2017).

Bir başka yama ise L'Oréal tarafından piyasaya sürülen My UV Patch'tir. Bu yama ile mevcut ve ileri güneş ışınlarını beş güne kadar takip edebilmektedirler. My UV Patch her biri UV'ye duyarlı bir boya ile basılmış 16 kareye sahiptir; farklı duyarlılıktaki boyalar, dakika, saat ve günler boyunca güneşe maruz kalmayı kaydetmektedirler (Tekla, 2016). Şekil 8'de bu yama gösterilmektedir.



Şekil 8. L'Oréal My UV Patch

Bir başka tek kullanımlık bir teşhis yaması, tüm şiddet düzeylerinde obstrüktif uyku apnesini etkili bir şekilde saptadığını göstermektedir. Bu yama "SomnaPatch" olarak adlandırılmış ve Somnarus Inc. tarafından yapılmıştır. Cilt-yapışkanlı tanı bandı, bir onstan daha az ağırlığındadır ve burun basıncı, kan oksijen doygunluğu, nabız hızı, solunum çabası, uyku zamanı ve vücut pozisyonunu kaydetmektedir (Healio, 2017). Şekil 9'de bu yama gösterilmektedir.



Şekil 9. Somna Patch (Euroklaert, 2019).

2012 yılında FDA (Food and Drug Administration) tarafından onaylanan sindirilemeyen sensörler, tedavilerin organları nasıl etkilediğine dair bilgi vermektedir. Proteus Digital Health tarafından geliştirilen magnezyum ve bakır içeren sensörler mide asidi ile etkileştiğinde kalp hızı, solunum hızı, EKG takip etmek için kullanılabilir. Bu ürünler, kapsül ilaçlar gibi oral yoldan tüketilmektedir. Bu kapsül aracılığıyla kişi sağlığı ile ilgili bilgiler kaydedilmekte ve mobil uygulama ile bu bilgiler izlenebilmektedir. Özellikle erken tanı konusunda sindirilemeyen sensörlerin çok etkili olacağı düşünülmektedir (Cat, 2018).

AliveCor 40 yaş üstü erişkinlerin yaklaşık dörtte birini etkileyen atrial fibrillasyonu belirleyebilecek, akıllı telefonlara uyumlu, hasta parmağı ya da göğsünden EKG kaydını destekleyen, FDA onaylı bir cihaz-sensör yaması geliştirmiştir. Vital Connect kalp ritmi, nabız değişikliği, solunum sıklığı, deri sıcaklığı, adımlar ve düşme gibi parametreleri takip edebilmekte ve sonuçlarını mobil aygıtlarda gösterebilmektedir. (Catlabdigest, 2014).

Sheng Xu, Brady Huang ve UCSD çalışanları, kardiyovasküler problemleri daha erken ve daha hassas şekilde saptamak için cilt altındaki 4 santimetreye kadar atardamarlardaki kan basıncını izleyen küçük, giyilebilir bir ultrason yaması geliştirmişlerdir (Applysci, 2018).



Chrono Therapeutics, sigara içenler en güçlü isteklerine sahip olduklarında nikotin sağlayan sensörlerle gömülü transdermal bir yama oluşturmuştur. Bu, kullanıcıların haftalar boyunca dozlarını azaltabilmeleri için tasarlanan indirme programıdır ve yama, kişiselleştirilmiş davranış değişikliği desteği sunan bir eşlikçi uygulamasıyla birlikte çalışmaktadır (Heather, 2016) .

Derma-Tec tarafından üretilen ONUSblue, ilacın kandaki alkol seviyesini göstermek için görsel bir renk tonlaması kullanan ilk alkol yamasıdır. İnsan terinde vücut tarafından atılan kalıntı maddeler tarafından kandaki alkol miktarını tespit ederek mavinin koyu tonlarına dönüşebilen tek kullanımlık bir yamadır (Hanlon, 2016) .

Wang ve Patrick Mercier, kandaki alkol içeriğini üç hızlı adımda test eden bir yama geliştirmişlerdir. Yama, deriye az miktarda ilaç pilokarpin ileterek terlemeyi teşvik etmektedir. Üretilen ter içindeki etanol; daha sonra alkol oksidaz enzimi ve Prusya Mavisı elektrot dönüştürücü kullanılarak amperometrik algılama ile ölçülmektedir. Esnek bir elektronik devre kartı verileri ise bir Bluetooth bağlantısı üzerinden bir mobil cihaza veya dizüstü bilgisayara iletilmektedir (Inchemistry, 2016) .

Grip yaması: Bir cilt yaması yoluyla verilen bir tek doz grip aşısının, ilk kez aşılana hastalarda geleneksel bir ilaç kadar etkili olduğu gösterilmiştir. Araştırmacılar ayrıca, kızamık, kızamıkçık ve çocuk felci aşılı için yamalar geliştirdiklerini; bu yamanın uygulanmasında eğitimli bir tıp uzmanı gerektirmeyeceği için, hala yaygın olan ülkelerde bu hastalıkları yok etmek için kullanılabileceğini söylemektedirler (Steafel, 2017) .

Başka bir giyilebilir sensör; sürekli bir EKG ritmi akışı, solunum hızı, kalp atış hızı, RR aralığı ve üç eksenli ivme ölçer üretebilmektedir. VivaLNK'nin eSkin teknolojisi ve hasta merkezli tasarımına dayanan sensör, hem hasta içinde hem de uzaktan hasta izleme (RPM) uygulamaları için kullanıcı dostu, yeniden kullanılabilir ve çok uygun olacak şekilde tasarlanmış küçük bandaj boyutlu bir yama şeklindedir (MPO-MAG, 2019) .

Lief Smart Patch, biraz endişelendiğinde vücudunuzu kontrol etmenize yardımcı olacak bir EKG akıllı yamasıdır. Lief, bedeni sakinleştirmek ve bir değişiklik tespit ettiği anda doğal bir ritme geri dönmek için ince titreşimler kullanmaktadır (Coles, 2017) .

Araştırmacılar, yerleşik glikoz algılama enzimlerine dayanarak insülini dağıtabilen, yüzlerce inanılmaz derecede küçük mikro iğneler kullanan bir “akıllı insülin yaması” tasarlamışlardır. Madeni para büyüklüğündeki gümüş yama vücudun herhangi bir yerine yerleştirilebilmekte ve glikoz seviyelerinin çok yükseldiğini algıladığı anda gerekli miktarda insülin salgılayabilmektedir (Brown, 2015).

Humm, kişilerin beyninden en iyi şekilde yararlanmasına yardımcı olmak için yeniden kullanılabilir nörostimülasyon kafa bantları şeklinde yamalar oluşturmuştur. Yama, TACS olarak bilinen bir yöntem olan minik bir elektrik darbesi yayarak beyninizin önünü uyarmaktadır. Bu durum beyninizde dalgalanmakta ve nöronları aynı frekansta rezonansa teşvik etmektedir. Böylece yamanın her kullanımında 15-30 dakika arasında daha fazla verimlilik elde edilmektedir (Mills, 2019).

Disiplinlerarası bir araştırma ekibi, hastanın kanını izlemek ve tromboz olarak bilinen bir durum olan tehlikeli kan pıhtılarının oluşmasını önlemek için; gerektiğinde kan inceltici ilaçları serbest bırakma amacıyla tasarlanmış akıllı bir yama geliştirmiştir. Çalışma, North Carolina Eyalet Üniversitesi ve Chapel Hill'deki North Carolina Üniversitesi'ndeki araştırmacılar tarafından yapılmıştır (Team MMM, 2016) .

Giyilebilir termometreler ateş sırasında vücut sıcaklığını ölçmenin yanı sıra kadınlarda bazal sıcaklığın izlenmesi için popüler cihazlardır (Tamura vd., 2018) . Özellikle bebeklerin ve çocukların ateş takibinde kullanılan giyilebilir sensör yamalardandır. Hastanın sıcaklığını her 10 saniyede bir 24 saate kadar ölçebilmektedir. Ardından tüm veriler ücretsiz bir uygulama üzerinden mobil cihaza gönderilmektedir (Tempal, 2019) .

ECG-Patch kaydediciler, 24 saat ila 14 gün arasında mükemmel P-Wave görselleştirmesi ile yüksek çözünürlüklü ve düşük artefaktlı elektrokardiyogramları kaydetmektedir. Cardeo Solo (Medgadgets, 2017), Solmitech ECG Monitoring Patch (Solmitech, 2019), Bio Patch MC100 (Seerstech, 2019) gibi birçok ECG patch yaması bulunmaktadır.

Araştırmacı bilim adamları, altı ay boyunca kontrasepsiyon sağlayabilecek yeni bir doğum kontrol yaması geliştirdiğini belirtmiştir. Yama uygulandıktan ve birkaç saniye sonra çıkarıldıktan sonra cildin yüzeyinde kalan iğneler daha sonra zamanla çözülmekte ve yavaş yavaş doğum kontrol ilacı levonorgestrel serbest bırakılmaktadır (Praderio, 2019) .

### **3. Sonuçlar**

Sağlık alanında giyilebilir sensör yama teknolojilerine baktığımızda birçok amaç için tercih edildiğini görmekteyiz. Özellikle Diabet gibi sürekli takibi yapılması gereken hastalıkların tedavisinde ilaç dozunu ayarlayabilmek için, sigarayı kademeli olarak bırakabilmek için, deriye gelen UV ışınlarını ölçebilmek için, ateşinizi düzenli olarak takip edebilmek için, kandaki alkol miktarını ölçebilmek için, stresinizi ya da tansiyonunuzu ölçebilmek için birçok sensör yaması bulunmaktadır. Bu yamaların çoğunun mobil uygulaması bulunmakta ve geriye dönük olarak bu verilere de ulaşılabilmektedir. Bu da hastalık süreçlerinin takibini ya da bağımlılıkların ne derece değiştiğini göstermektedir. İlerleyen süreçlerde bu toplanan veriler yapay zeka ile işlenebilecek ve ilaç keşfinde ya da hastalık tanısının daha kolay konmasında kullanılacaktır. Bu da insanların hastalıkları henüz görülmeden tahminlenmesinde ve hastalık henüz ortaya çıkmadan önlenmesinde önemli rol oynayacaktır.

Sağlığımızı sürdürebilmek için ya da hastalıklarımızı kontrol edebilmek için giyilebilir sensör yamaların akıllı saat ya da akıllı diğer uygulamalar gibi günlük hayatımızda yer alacağını ve bu alanda yapılan çalışmaların devam edeceğini düşünmekteyiz. Öyle ki Hayward S. ve Tsao N. tarafından ele alınan “Elektronik Deri Yamaları 2019-2029” çalışmasında deri sensör yamalarından 2029'a kadar elde edilen gelirin 20 milyar doların üzerinde olacağı söylenmektedir (Hayward ve Tsao, 2019) . Bu rakamlar da bu sektörde ilerlemenin kaçınılmaz olduğunu göstermektedir.

Giyilebilir sensör yamaları ile ilgili son zamanlarda kongreler de düzenlenmektedir. Örnek olarak yapılmış olan 25-26 Eylül 2019 Healthcare Sensor Innovations 2019'u, 17-18 Mart 2020 de yapılacak olan Healthcare Sensor Innovations USA 2020 ve 13-14 Mayıs 2020'de yapılacak olan Wearable Europe 2020'yi verebiliriz. Bu alandaki kongreler giyilebilir yamalar konusunda çalışmaların hızlı bir şekilde devam ettiğini göstermektedir.

## Kaynakça

- Abbot. FreeStyle Libre Pro Indications. <https://www.abbott.com/corpnewsroom/products-safety-info-pages/diabetes-freestyle-librepro.html>
- Applysci. (2018). Small ultrasound patch detects heart disease early. <https://boston.applysci.com/2018/09/small-ultrasound-patch-detects-heart-disease-early/>
- Aydın N. (2019). Giyilebilir Teknolojiler: E-Ticaretin Geleceği mi? International Balkan and Near Eastern Social Sciences Congress Series XI. IBANESS Congress Series-Tekirdağ/TURKEY.
- Brown N. (2015). Smart Insulin Patch a “Game Changer” for Diabetic Medicine <https://futurism.com/smart-insulin-patch-a-game-changer-for-diabetic-medicine>
- Büyükgöze S., Dereli E.(2018a). Sağlık 4.0 Ve Uygulamaları, Akademisyen Kitabevi A.Ş., 2019, ISBN: 978-605-258-052-3
- Büyükgöze S., Dereli E.(2018b).Dijital Sağlık Ve Uygulamaları, Akademisyen Kitabevi A.Ş., 2019, ISBN: 978-605-258-052-3
- Büyükgöze S., Dereli E.(2019b). Dijital Sağlık Ve Yapay Zeka , Güncel Sağlık Bilimleri Çalışmaları II, Akademisyen Kitabevi A.Ş., 2019, ISBN:978-605-258-626-6
- Büyükgöze S., Dereli E.(2019c).Toplum 5.0'da Dijital Sağlık , Güncel Sağlık Bilimleri Çalışmaları II, Akademisyen Kitabevi A.Ş., 2019, ISBN:978-605-258-626-6
- Büyükgöze S., Dereli E.,(2019a). Toplum 5.0 ve Dijital Sağlık, VI. Uluslararası Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar Kongresi-Fen ve Sağlık 2019, 07-10 Kasım 2019, ANKARA
- Büyükgöze S., Dereli E.,(2019d). Dijital Sağlık Uygulamalarında Yapay Zeka, VI. Uluslararası Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar Kongresi-Fen ve Sağlık 2019,07-10 Kasım 2019, ANKARA
- Cat W. (2018). This digital pill wants to make following your prescription easier. <https://www.pbs.org/newshour/science/following-a-prescription-is-hard-this-digital-pill-wants-to-help>
- Catlabdigest. (2014). Vital Connect HealthPatch MD Biosensor Receives FDA Clearance. <https://www.cathlabdigest.com/article/Vital-Connect-HealthPatch-MD-Biosensor-Receives-FDA-Clearance>
- Coles D. (2017). Lief Smart Patch – get some help with your anxiety with this wearable. [http://www.redferret.net/?p=54279&utm\\_source=feedburner&utm\\_medium=feed&utm\\_campaign=Feed%3A+redferret%2FnDEQ+%28The+Red+Ferret+Journal%29](http://www.redferret.net/?p=54279&utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+redferret%2FnDEQ+%28The+Red+Ferret+Journal%29)
- Çakır, F. S., Aytekin, A., & Tüminçin, F. (2018). Nesnelerin interneti ve giyilebilir teknolojiler. *Sosyal Araştırmalar ve Davranış Bilimleri Dergisi*, 4(5), 84-95.
- Demirci, Ş. (2019). Sağlıkın Dijitalleşmesi-Digitalization Of Health. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 10(26), 710-721.
- Diabetesqld. (2016). Wearable patch technology. <https://www.diabetesqld.org.au/media-centre/2016/april/wearable-patch-technology.aspx>
- Electronics-council. (2019). Chem-fiz yaması giyilebilir teknolojiye birden çok sensör kullanıyor <https://tr.electronics-council.com/chem-phys-patch-uses-multiple-sensors-wearable-tech-60391>
- Euroklaert. (2019). SomnaPatch Device (IMAGE). <https://www.eurekalert.org/multimedia/pub/142151.php>
- Fukuyama, M. (2018). Society 5.0: Aiming for a New Human-Centered Society. *Japan SPOTLIGHT*, 47-50.
- GETürkiyeBlog. (2019). GE'nin Yeni Bir Giyilebilir Teknoloji Cihazı: Ter Yaması <https://geturkiyeblog.com/genin-yeni-bir-giyilebilir-teknoloji-cihazı-ter-yaması/>
- Göktürk M. (2018). Sağlıkta 4.0 bizi nereye götürüyor? [http://www.medipol.edu.tr/Document/Galeri/Dokuman/yayınlar/SD\\_46.pdf](http://www.medipol.edu.tr/Document/Galeri/Dokuman/yayınlar/SD_46.pdf)
- Hanlon M. (2016). The ingenious ONUSblue alcohol and drug detection patch <https://newatlas.com/onusblue-color-gradient-alcohol-drug-detection-patch/46584/>
- Hayward J., Tsao N. (2019).Electronic Skin Patches 2019-2029. <https://www.idtechex.com/en/research-report/electronic-skin-patches-2019-2029/674>
- He, W., Wang, C., Wang, H., Jian, M., Lu, W., Liang, X., ... & Zhang, Y. (2019). Integrated textile sensor patch for real-time and multiplex sweat analysis. *Science advances*, 5(11), eaax0649.
- Healio. (2017). SomnaPatch possible tool to detect sleep apnea. <https://www.healio.com/internal-medicine/sleep-medicine/news/online/%7B35c021f9-5acb-43f2-aa9e-c18fad0f01a2%7D/somnapatch-possible-tool-to-detect-sleep-apnea>
- Heather M. (2016). Chrono Therapeutics raises \$47.6M to develop smoking cessation wearable <https://www.mobihealthnews.com/content/chrono-therapeutics-raises-476m-develop-smoking-cessation-wearable>.
- Inchemistry. (2016). Electronic Skin Patch Detects Blood Alcohol Level from Sweat <https://inchemistry.acs.org/content/inchemistry/en/atomic-news/electronic-skin-patch.html>
- Medgadgets. (2017). CARDEA SOLO Wearable ECG Monitor for Detecting Difficult to Diagnose Arrhythmias. <https://www.medgadget.com/2017/04/cardea-solo-wearable-ecg-monitor-detecting-difficult-diagnose-arrhythmias.html>
- Mills M. F. (2019). Humm's smart patch wants to give your memory a boost. <https://www.wearable.com/wearable-tech/humm-wearable-neurostimulation-patch-memory-aid-7501>
- Morfikirler. (2018). Görme Engelliler İçin Okuma Yüzüğü. <https://morfikirler.com/gorme-engelliler-icin-okuma-yuzugu/>

- Mpo-Mag. (2019). VivaLNK Wearable Sensor and Software Development Kit Receive CE Mark. [https://www.mpo-mag.com/contents/view\\_breaking-news/2019-12-03/vivalnk-wearable-sensor-and-software-development-kit-receive-ce-mark/](https://www.mpo-mag.com/contents/view_breaking-news/2019-12-03/vivalnk-wearable-sensor-and-software-development-kit-receive-ce-mark/)
- NTBoxMag. (2017). Yeni Geliştirilen Kağıt Yama, Diyabet Hastalarının Glikoz Değerini Ölçmesine Yardımcı Olacak. <http://www.ntboxmag.com/2017/09/26/yeni-gelistirilen-kagit-yama-diyabet-hastalarinin-glikoz-degerini-olcmesine-yardimci-olacak/>
- Praderio C. (2019). There may someday be a birth control patch that could last for 6 months, and you won't need to see a doctor to get it. <https://www.insider.com/new-birth-control-patch-microneedle-2019-1>
- Seerstech. (2019). Product overview of wearable Bio Patch MC100. <https://www.seerstech.com/wearable-bio-patch/>
- Solmitech. (2019). Multi-User ECG Monitor(SHC-MT1).[https://solmitech.en.ec21.com/Multi-User-ECG-Monitor-SHC--10231491\\_10232896.html](https://solmitech.en.ec21.com/Multi-User-ECG-Monitor-SHC--10231491_10232896.html)
- Steafel E. (2017). From the flu jab to the pill – why microneedle patches are the future of medicine <https://www.telegraph.co.uk/women/life/flu-jab-pill-microneedle-patches-future-medicine/>
- Tamura, T., Huang, M., & Togawa, T. (2018). Current Developments in Wearable Thermometers. *Advanced Biomedical Engineering*, 7, 88-99.
- Team MMM. (2016). This new smart patch releases blood thinners as and when needed. <http://www.mymedicalmantra.com/this-new-smart-patch-releases-blood-thinners-as-and-when-needed/>
- Tekla S. P., (2016). Stretchable Electronics Have Their Coming Out Party At CES. <https://spectrum.ieee.org/view-from-the-valley/biomedical/devices/stretchable-electronics-have-their-coming-out-party-at-ces>
- Tekla S. P., (2018). <https://spectrum.ieee.org/view-from-the-valley/biomedical/diagnostics/new-wearable-sensor-detects-stress-hormone-in-sweat>.
- Tempal. (2019). Smart Thermometer Patch. <https://www.iweecare.com/EN/>
- Wu, F., Wu, T., & Yuce, M. (2019). An internet-of-things (IoT) network system for connected safety and health monitoring applications. *Sensors*, 19(1), 21.



# Body Condition Score (BCS) Segmentation and Classification in Dairy Cows using R-CNN Deep Learning Architecture

Kerim Kürşat Çevik<sup>1\*</sup>, Mustafa Boğa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Akdeniz University, Faculty of Social Sciences and Humanities, Department of Business Informatics, Antalya, Turkey (ORCID: 0000-0002-2921-506X)

<sup>2</sup>Niğde Ömer Halisdemir University, Bor Vocational School, Department of Food Processing, Niğde, Turkey (ORCID: 0000-0002-2845-4528)

(First received 1 Aralık 2019 and in final form 31 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.658365)

**ATIF/REFERENCE:** Çevik, K.K., & Boğa, M. (2019). Body Condition Score (BCS) Segmentation and Classification in Dairy Cows using R-CNN Deep Learning Architecture. *European Journal of Science and Technology*, (17), 1248-1255.

## Abstract

Body condition score (BCS) is based on scoring of dairy cattle from 1 to 5 according to the appearance of animals. BCS is a subjective method based on assessing of subcutaneous fat thickness on the regions in back, waist and coccyx regions in cattle and the bone spurs in the pelvic region by visual inspection and palpation method. BSC of animals in among the most important indicator of whether the needs of animals are met in livestock enterprises. In general, BCS values are determined by a method based on expert knowledge and determined by observation. If the animal is above or below the desired BCS, at this stage, diseases resulting from metabolic problems, low yield or animal losses may occur. With the regular control of this situation, the profitability of the enterprise may increase with healthier animals. For this purpose, in this study, it is aimed to segment the required regions and to classify the segmented regions in order to perform BCS. Images taken from dairy cattle were trained with the R-CNN architecture used in object detection applications, which are among the Convolutional Neural Networks (CNN) architectures. Of the 184 images, 75% (138) were used for training and 25% (46) were used for testing. During the training phase, the regions where BSC could be conducted from the raw images were labeled and these regions were learned. Then, the segmentation of the correct regions from the new images to the system was tested. Pre-trained networks were utilized to increase system success. For the classification of the segmented regions, the CNN network trained with AlexNet architecture was used. When the overall success of the system was evaluated, the AlexNet network correctly segmented 40 of the 46 raw test images, and the AlexNet CNN network correctly classified 28 of them and provided 60.86% overall success. The VGG16 network correctly segmented 42 of the 46 raw test images, and the AlexNet CNN network correctly classified 30 of them, achieving 65.21% overall success. On the other hand, The VGG19 network correctly segmented 43 of the 46 raw test images, and the AlexNet CNN network correctly classified 31 of them, achieving 67.39% overall success.

**Keywords:** Dairy Cows, Body Condition Score, Deep Learning, Segmentation, R-CNN.

## R-CNN Derin Öğrenme Mimarisi ile Süt Sığırlarında Vücut Kondisyon Skoru (VKS) Alanı Bölütlenmesi ve Sınıflandırması

### Öz

Vücut kondisyon skoru (VKS) süt sığırlarında hayvanların dış görünüşüne göre 1 den 5 e kadar puanlanması esasına dayanmaktadır. VKS, sığırlarda sırt, bel ve kuyruk sokumu bölgelerinde deri altı yağ kalınlığının, pelvik bölgede kemik çıkıntıları ile ilişkisinin görsel olarak veya palpasyon yöntemi ile belirlenmesine dayalı subjektif bir yöntemdir. Hayvancılık işletmelerinde hayvanların ihtiyaçlarının

\* Corresponding Author: Akdeniz University, Faculty of Social Sciences and Humanities, Department of Business Informatics, Antalya, Turkey, ORCID: 0000-0002-2921-506X, [kcevik@akdeniz.edu.tr](mailto:kcevik@akdeniz.edu.tr)

karşılıklı karşılanmadığının en önemli göstergesi hayvanların VKS puanlamasıdır. Genellikle işletmelerde VKS değerleri uzman bilgisine dayanan ve gözlem yoluyla belirlenen bir yöntem ile belirlenmektedir. Eğer hayvan istenilen VKS'nin üzerinde veya altında ise bu aşamada da metabolik problemlerden kaynaklanan hastalıklar, verim düşüklüğü veya hayvan kayıpları gözlemlenebilecektir. Bu durumun düzenli bir şekilde kontrolü ile birlikte daha sağlık hayvanların ve işletmenin karlılığı da artabilecektir. Bu amaçla çalışmamızda VKS puanlamasının yapılabilmesi için görüntüler üzerinden gerekli alanların bölütlenmesi ve bölütlenen alanların sınıflandırılması amaçlanmıştır. Süt sığırlarından alınan görüntüler Evrişimsel Sinir Ağları (ESA) mimarilerinden nesne belirleme uygulamalarında kullanılan R-CNN mimarisi ile eğitilmiştir. 184 adet görüntü içerisinde %75'i (138 adet) eğitim, %25'i (46 adet) test için kullanılmıştır. Eğitim aşamasında ham görüntüler içerisinde VKS skorlaması yapılabilecek alanlar etiketlenmiş ve bu alanların öğrenilmesi sağlanmıştır. Daha sonra ise sisteme yeni gelen görüntüler içerisinde doğru alanların bölütlenmesi test edilmiştir. Sistem başarısını artırmak adına önceden eğitilmiş (pre-trained) ağlardan faydalanılmıştır. Bölütlenen alanların sınıflandırılması için ise AlexNet mimarisi ile eğitilmiş CNN ağı kullanılmıştır. Sistemin genel başarısı değerlendirildiğinde AlexNet ağı 46 ham test görüntü içerisinde 40 adedini doğru bölütlemiş ve AlexNet CNN ağı 28 tanesini doğru sınıflandırarak %60.86 genel başarı sağlamıştır. VGG16 ağı 46 ham test görüntü içerisinde 42 adedini doğru bölütlemiş ve AlexNet CNN ağı 30 tanesini doğru sınıflandırarak %65.21 genel başarı sağlamıştır. VGG19 ağı ise 46 ham test görüntü içerisinde 43 adedini doğru bölütlemiş ve AlexNet CNN ağı 31 tanesini doğru sınıflandırarak %67.39 genel başarı sağlamıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Süt Sığırları, Vücut Kondisyon Skoru, Derin Öğrenme, Bölütleme, R-CNN.

## 1. Introduction

Considering that 60-70% of the expenses of the dairy cattle enterprises is formed by feed expenses, it may be important to ensure that the needs of the animals are optimally met in terms of increasing the income of the farm. In addition, meeting the needs of the animals can influence the yield obtained from the animal, the formation of metabolic diseases and the profitability of the processing. For this purpose, the requirement of dairy cattle should be fully provided after birth until the next birth. During this period, the needs of the animal are very different and vary. Therefore, it is necessary to group the animals into 5 different phases and meet their needs in feeding of dairy cattle. After birth, the first 0-70 days are called as phase 1, 70-140 days are as phase 2, 140-135 days are as phase 3, 305-360 days are as dry period and the last 21 days are as phase 5. With this process, it is aimed to fully meet the nutritional needs of the animals by grouping them according to their periods. The most important indicator of whether the needs of the animals are met under the conditions of the enterprise is the BCS of the animals. BCS is a subjective method based on assessing of subcutaneous fat thickness on the regions in back, waist and coccyx regions in cattle and the bone spurs in the pelvic region by visual inspection and palpation method (Canatan, 2013). Body condition score (BCS) of dairy cattle is based on scoring of dairy cattle from 1 to 5 according to the appearance of animals. Since BCS is performed through observation, it is a very simple procedure and based on the experience and knowledge of the person. BCS in dairy cattle provides general information about the care and feeding of animals under farm conditions.

Body condition scoring in dairy cattle is based on the visual evaluation as 1, 2, 3, 4 and 5. In this case, animals with different weights are roughly divided into scores as follows.

Score 1: The animal is nothing but skin and bones.

Score 2, 2- : The animal is in negative energy balance.

Score 2 + : Milk yield is high in early lactation but problems may arise.

Score 3: The animal is in ideal nutritional balance.

Score 4: Condition is a high but milk production is bad. Lactation lasts too long and there is a high risk of infertility in the dry period.

Score 5: Over-fat cow. Fatty Cow Syndrome (FCS candidate) (Bayramoğlu, 2011).

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---





Figure 1. Body Condition Score Table (KetoLution, 2016)

Although this scoring is very simple for the enterprise, it will be very important for the animals in the enterprise. In each phase, the animal must have the desired BCS value. If the animal is above or below the desired BCS at this stage, diseases resulting from metabolic problems, low yields or animal losses may be observed. With regular control of this situation, the production of healthier animals and the profitability of the enterprise may increase. The control of the will of the enterprise can also be controlled by this situation. The expected BCS values are 3 +, 4 - in calving, 3 -, 3 in early lactation, 3 in mid-lactation, 3 - in the end of lactation, 3 +, 4 - in dry period. There may be metabolic problems below or above this rating. For this reason, control of animals is possible with regular control of BCS in animals at regular intervals.

Increasing the milk yield of dairy cattle, regulating the postpartum anestrus interval of the cattle and meeting the needs of the animal during the year in order to prevent metabolic diseases will be possible by controlling BCS values regularly. For this purpose, animals need to be grouped for maintenance and feeding and accordingly the need of the animals should be met. BCS is an indicator of whether nutritional needs of grouped dairy cattle are fully met. It is also important in regulating the needs of those with low BCS and avoiding over or undernourishment of animals. Regular rationing of each group by grouping will ensure that the needs of the animals are fully met as well as providing the stability of the enterprise. For this reason, it is necessary to group the animals into 5 different phases and meet their needs, and the control of this process could be conducted by BCS.

After calving, cows with a high BCS at calving and greater lipid mobilization have a more marked alteration in oxidative status. These conditions may lead the cows to be more sensitive to oxidative stress. The study results on this issue emphasize the need for further investigation of the possible role of oxidative stress in the identification of obesity-related disorders in transition dairy cows (Bernabucci, Ronchi, Lacetera, & Nardone, 2005). Metabolic problems such as ketosis and fatty liver may also be encountered in animals that are in high condition when giving birth.

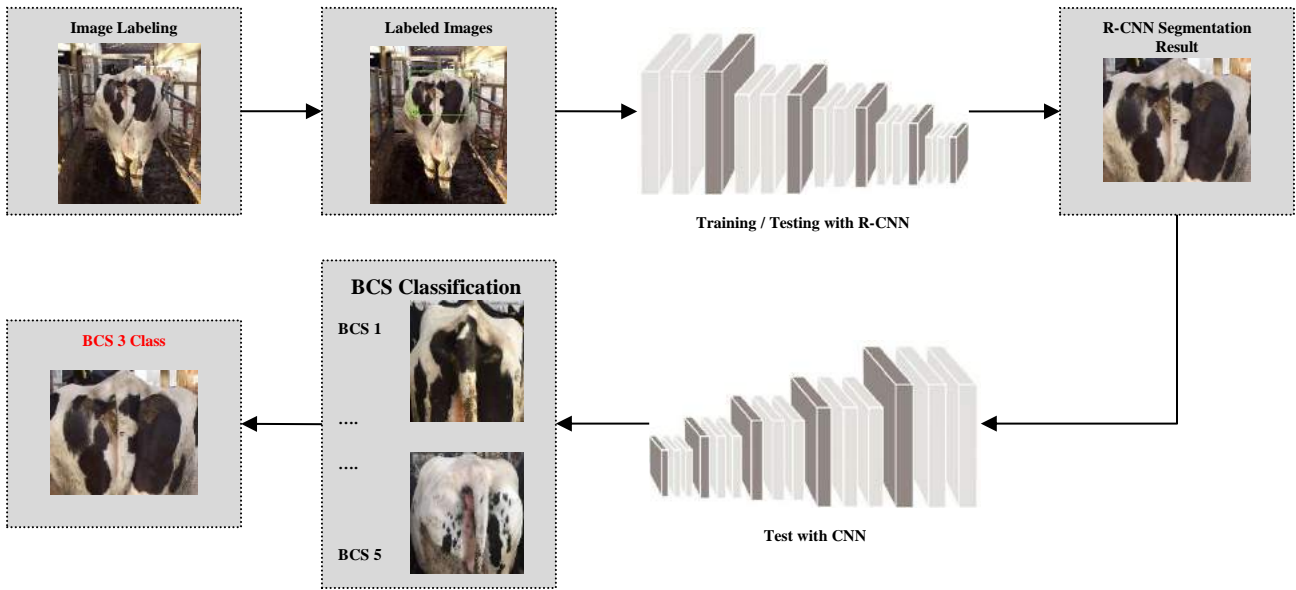
Berry et al. (2007) reported that BCS has an effect on udder health of the animal. They found more somatic cell score in cows with high body weight, low BCS during early lactation or with high live weight loss. They also stated that some numerical differences between the groups may be due to a number of reasons such as the higher degree of stress in younger animals in breeding and early lactation. They also stated that animals with high BCS and low BCS were not suitable for animal welfare. (Berry et al., 2007).

Roche et al., (2009) stated that there is general recognition that BCS provides a gross but reasonably accurate measure of a cow's energy reserves. Calving in appropriate BCS is the most influential method in the lactation calendar in terms of period in early lactation, BCS loss and milk yield. The data with an appropriate BCS provide reproduction, health and animal welfare, while indicating maximum milk production in the genetic merit of the cow. Cows with lower BCS level produce less milk, are likely have extended postpartum anestrus interval, are less likely to get pregnant, and are more likely to present themselves in an animal welfare-risk category (Roche et al., 2009).

When the literature is examined, it is seen that there are no studies on BCS classification by image processing method or selection of the required regions through the image and differentiation of them in the background for BCS. In this respect, the study will make great contribution to the literature and will lead to further studies.

## 2. Material and Method

In this study, a system is proposed for segmentation of the region where BCS classification can be made from the image and BCS classification of the segmented area. The proposed system consists of 4 stages. Firstly, the BCS regions of the images taken under the supervision of expert zoo technician were labeled. 75% of the labeled images were used for training and 25 % of the images were used for testing, and the system was modeled by transfer learning using R-CNN architecture. For the BCS classification, the segmented regions were further strengthened with transfer learning by another CNN architecture designed for segmented regions. Finally, the overall performance rate of the system was tested. The general architectural infrastructure of the designed system is shown in Figure 2.



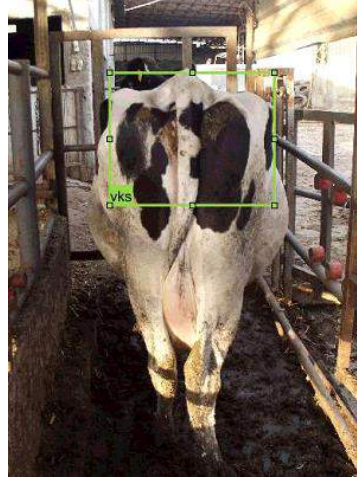
**Figure 2.** Flow chart of the proposed system for BCS from the image

For the study, the images on which BCS could be provided were obtained. 184 images that could be used in BCS of dairy cattle from different enterprises were determined by expert Zoo technician. This process was performed by the expert entirely according to his/her experience and by examining the obtained images. Images were recorded in a way to show bony protrusions in the pelvic region of the animal (Figure 3).



**Figure 3.** Raw image taken from dairy cattle

The BCS classification regions determined by the expert were marked and labeled on these recorded images (Figure 4). Labeling process was conducted using Matlab ImageLabeler application tool. In this way, a total of 184 different images were taken from different enterprises. The obtained images were used for input data of the system.



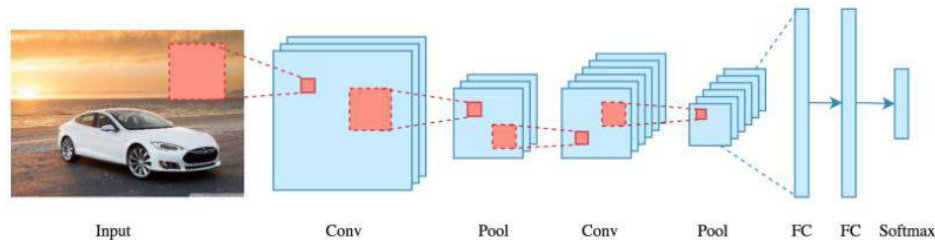
**Figure 4.** Process of determination of BCS regions

Matlab Deep Learning Tool was used in the application of deep neural networks in the study. The computer on which the designed software was run had Intel i7-2600 3.40 GHz processor, 18 GB RAM, 64 Bit Windows 10 operating system, GTS450 GDDR5 1GB 128Bit Nvidia GeForce DX11 GPU.

### Convolutional Neural Network (CNN)

In order to develop a model and provide training in standard machine learning, feature vectors must be extracted first. It is necessary to refer to the knowledge of experts in determining these characteristics. This process takes time and is open to expert error. In order to eliminate this problem in the field of machine learning, deep learning aims to obtain results by processing raw data (Özkan & Ülker, 2017). The most important feature of the deep learning networks, which are designed in different models according to the field in which they are used, is that they do not require an “attribute engineering” to extract the attributes appropriate to the problem. In layers with deep structure, attributes are formed by learning of the network. Deep learning networks, which can decide on which information to learn on their own rather than using the information presented to them, therefore produce more successful results than classical methods (Kızrak & Bolat, 2018).

As one of the deep learning methods, the convolutional neural network (CNN) architectures are frequently used in the literature for image classification, object recognition and detection methods (Arı & Hanbay, 2019). A CNN is comprised of one or more convolution layers and followed by fully connected standard multilayer neural network. In deep learning CNN model, which has a multi-layer structure, data is transferred to the next layer by performing a separate operation on each layer. Each layer performs its own function. The layers in the CNN architectures and their operations are shown in Figure 5.



**Figure 5.** A typical CNN structure

**Convolution Layer:** Convolution process takes place by hovering a matrix with 3x3, 5x5, 7x7, 9x9, 11x11 dimensions on the image matrix. The specified small-size matrices hover over the entire image matrix, highlighting attributes in the image. A new image matrix is obtained at the end of the process (Doğan & Türkoğlu, 2018).

**Pooling Layer:** This layer is a merging process placed after the convolutional layer. It reduces the number of parameters that the network needs to learn. Thus, the process is accelerated. This reduces the number of pixels that need to be processed.

**Relu (Rectified Linear Unit) Layer:** It introduces non-linearity to the system. Activation function is applied to this layer. Negative values are set to zero, positive values are maintained. Since certain mathematical operations are performed in the convolution layer, which is used before this layer, the network is linear. This layer is applied to put this deep network into a nonlinear structure. By using this layer the network learns faster. It allows only active properties to be transferred to the next layer (Özkan & Ülker, 2017).

**Fully Connected Layer:** It is the standard neural network layer. It is used for classification purposes. The number of the outputs in the layer depends on the number of the classification that wanted to be learned.

### Regional-Convolutional Neural Network (R-CNN)

Image classification is a process of identifying objects on an image. For this purpose, identifying the regions with images on the picture and trying to recognize the object only on these regions will give much faster results than scanning the whole image. The method that only searches on designated regions is called as Regional Convolutional Neural Network (R-CNN) (Özkan & Ülker, 2017).

The R-CNN architecture is generally consists of four parts. The first part contains the image to be classified. In the second part, the regions with objects are determined. In the third part, a CNN is run on which the classification process will be carried out. In the last part, the object class is determined and the corresponding region of the image is marked (Figure 6) (Girshick, Donahue, Darrell, & Malik, 2014). With this operating structure, R-CNN has achieved successful results in object detection applications.

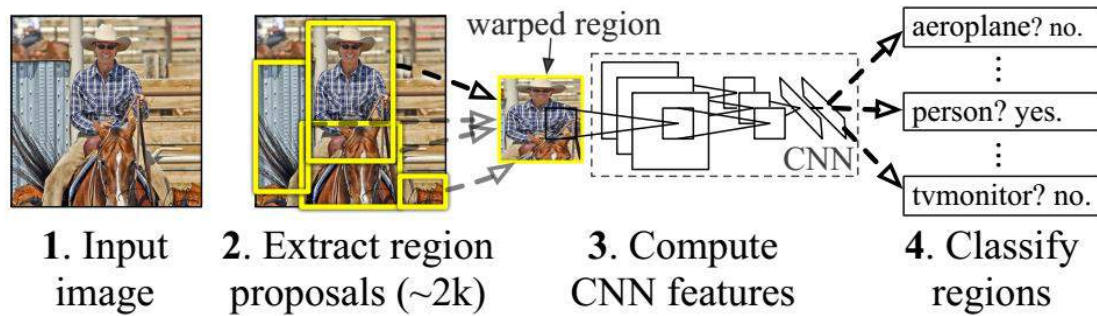


Figure 6. R-CNN structure (Girshick et al., 2014)

In studies in the literature, pre-trained models are used to train the network in a shorter period of time without reducing the performance of the network when the data set is small. System performance is improved by using these models. These models are available to researchers free of charge by various sources. Pre-trained versions of these models are called as pre-trained networks. Conducting classification and object identification processes by adding to new classes to these networks is called as transfer learning. Current major pre-trained CNN models in the literature can be listed as follows: LeNet (1998), AlexNet (2012), GoogleNet (2014), VGGNet (2014), ResNet (2015) became successful in ImageNet Classification Competition and became prominent in the field (Kızrak, 2018).

**LeNet:** It is the convolutional neural network model that was designed in 1998 and was the first successful deployment of such a network. It was developed by Yann LeCun and his team to read digits and numbers on bank checks and bills. Experiments were conducted on the MNIST (Modified National Institute of Standards and Technology) data set. Unlike other models that developed after this model, average pooling is performed instead of max-pooling in size reduction steps. Also sigmoid and hyperbolic tangent transfer functions are used as activation function (Kızrak, 2018; LeCun, Bottou, Bengio, & Haffner, 1998).

**AlexNet:** It is a convolutional neural network that is trained on more than a million images from the ImageNet database. The network is 8 layers deep and can classify images into 1000 object categories, such as keyboard, mouse, pencil, and many animals. The network must have image input size of 227X227 (A Krizhevsky & Sutskever, 2012; Alex Krizhevsky, Sutskever, & Hinton, 2012).

**VGG-16/19:** It is a simple network model. The most important difference from the previous models is the use of convolution layers as in 2 or 3. In the fully connected (FC) layer, it is converted into an attribute vector with  $7 \times 7 \times 512 = 4096$  neurons. The softmax performance of 1000 classes is calculated at the two FC layer outputs. There are 16 and 19 layered versions according to the number of layers. Approximately 138 million parameters are calculated in 16-layered version and 144 million in 19-layered version. As in other models, the height and width dimensions of matrices decrease from input to output, while depth value (number of channels) increases (Bayramoğlu, 2011). The network must have image input size of 227X227 (Simonyan & Zisserman, 2014).

**GoogLeNet:** It is a predefined CNN with a 22 layers deep and 5.7% error rate. It is the winner of the ImageNet 2014 competition. This architecture is generally one of the first CNN architectures formed by overlapping the convolution and pooling layers in a successive structure. The GoogLeNet architecture is also very generous in terms of memory and power usage, because putting all the layers on top of each other and adding a large number of filters increase calculation and memory cost. This can also allow the network to memorize. To overcome this situation, modules connected in parallel are used (Özkan & Ülker, 2017; Szegedy et al., 2015).

**Microsoft ResNet:** It has a different structure than traditional successive network architecture as VggNet, AlexNet. Resnet micro architecture module structure is different from other architectures. It may be preferable to move to the substrates by ignoring the change between some layers. In Resnet architecture, this situation is allowed and the performance rate is increased to higher levels. The Resnet50 architecture includes a network of 177 layers. In addition to this layered structure, there is information about how the inter-layer connections will occur (Doğan & Türkoğlu, 2018; He, Zhang, Ren, & Sun, 2016).

In this study, the R-CNN model was used to separate the regions in the image from the background by using the infrastructure of the CNN models, which have proven to be successful in literature, using transfer learning method.

### 3. Findings and Discussion

In this study, the images obtained for BCS classification were classified using pre-trained deep neural networks. The image showing that the BCS classification of 184 dairy cattle could be done by the expert was obtained and a pretreatment was performed. In this pretreatment, BCS regions were labeled using Matlab ImageLabeler application tool. Labeled images obtained after pretreatment (75% of the total image set, 138 images) were used for training. The remaining images (25% of the total image set, 46 Images) were used for testing. The AlexNet, VGG-16 and VGG-19 networks, which are among the pre-trained networks in the literature, were used and training of images was performed respectively using the R-CNN architecture. As a result of 1760 steps, consisting of 10 epochs and 176 iterations in each epoch, the obtained training times, training success rates and test success rates according to network types are given in Table 1.



Network	Training Time	Accuracy (%)	Loss	Test Success (%)
<i>alexnet</i>	01:21:43	93.75	0.1793	86.95 (46/40)
<i>vgg19</i>	18:03:20	93.75	0.1892	91.30 (46/42)
<i>vgg19</i>	22:37:11	96.88	0.1643	94.47 (46/43)

The BCS regions obtained after this step of the study were tested in a pre-trained CNN network. The CNN network used for the testing process has a structure modeled on the pre-trained AlexNet architecture, which was successfully tested in our previous study (Çevik &Boğa, 2019). As a result of the test, the score (BCS 1-5) of the segmented BCS region was tried to be determined. The system was enabled to test the images resulting from three networks (AlexNet, Vgg16, Vgg19) and the results are presented in Table 2.

*Table 2. Test results of the classification system*

Network	Input Image Number	Correct Classification	Test Success (%)	Overall Success (%)
<i>alexnet</i>	40	28	70	60.86 (46/28)
<i>vgg19</i>	42	30	71.42	65.21 (46/30)
<i>vgg19</i>	43	31	72.09	67.39 (46/31)

When Table 1 is examined, the network with the fastest training in terms of training time was found as AlexNet. VGG19 had the highest educational success with 96.88%. When the three network performances were examined, it was observed that educational success rates and test success rates were parallel to each other. In terms of training times, AlexNet was found to be nearly 20 times faster than the other two networks. However, its training and testing success was almost similar to other networks. Therefore, it can be said that acceptable results were obtained for Time/Performance evaluation of AlexNet network. In other networks, when the time was ignored, very successful results were obtained.

Table 2 presents the test results of BCS regions, which could be segmented from raw images, with AlexNet CNN architecture. According to these results, the scoring of segmented images was around 70% for all three networks. Therefore, it can be concluded that VGG19 achieved the highest achievement in three networks with 72% success rate.

When the overall success of the system was evaluated, AlexNet network achieved 60.86% success rate by correctly classifying 28 of 46 raw test images. The VGG16 network achieved 65.21% success rate by correctly classifying 30 of 46 raw test images. VGG19 network achieved 67.39% success rate by correctly classifying 31 of 46 raw test images.

## 4. Results

In this study, it was aimed to perform computer aided classification of Body Condition Score (BCS) in dairy cattle. For this process segmentation of the region where BCS classification could be conducted and a system capable of BCS classification of the segmented area were proposed. In order to increase the success of the system, CNN models based on transfer learning method and the models with proved success in the literature (AlexNet, VGG-16 and VGG-19) were used. Within the raw images, BCS regions were segmented to pre-trained networks with the help of R-CNN architecture, and these segmented regions were classified from pre-trained networks with the help of AlexNet architecture. As a result of the tests, the highest performance was obtained in VGG19 network as 67.39% in terms of the overall success of the system.

System performance will be increased by increasing the number of 184 images used in the current study. In addition, when the images on which incorrect BCS regions were identified or the BCS regions could not be determined were examined, it was determined that in the training data set, there were images that could be difficult to identify the BCS region from different distances. For this reason, it can be said that the creation of the data set by a single expert will increase the system performance.

By increasing such practices, some important points in animal production will be put into practice. This will allow the early detection of being overweight or too weak of dairy cattle, and therefore prevent metabolic problems. In addition, increasing the milk yield of dairy cattle, regulating the postpartum anestrus interval of the cattle and meeting the needs of the animal during the year in order to prevent metabolic diseases will be possible by controlling the fast and realistic BCS values regularly.

In the following studies, an automated BCS classification system can be designed for the end user with the help of an increased number of data sets using the specified R-CNN and CNN architectures. This application software can be run on the flowing images. In fact, this application software, together with the support of mobile technology, can allow users to access more easily.



## References

- Arı, A., & Hanbay, D. (2019). Tumor detection in MR images of regional convolutional neural networks. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34(3), 1395-1408.
- Bayramoğlu, R. (2011, 19.05.2011). Vücut Yapısının Değerlendirilmesi. Retrieved 25.06.2019, 2019, from <https://veterinaryruminant.blogspot.com/2011/03/vucut-kondisyon-skoru-vucut-yapsnn.html>
- Bernabucci, U., Ronchi, B., Lacetera, N., & Nardone, A. (2005). Influence of body condition score on relationships between metabolic status and oxidative stress in periparturient dairy cows. *Journal of dairy science*, 88(6), 2017-2026.
- Berry, D., Lee, J., Macdonald, K., Stafford, K., Matthews, L., & Roche, J. (2007). Associations among body condition score, body weight, somatic cell count, and clinical mastitis in seasonally calving dairy cattle. *Journal of dairy science*, 90(2), 637-648.
- Canatan, H. E. (2013). İnek ve Düvelerde Vücut Kondisyon Skoru Değişiminin Postpartum Döneme ve Fertilitate Parametrelerine Etkisi. (Phd.), Ankara Üniversitesi Akara.
- Çevik, K. K., & Boğa M., (2019). Derin Öğrenme İle Vücut Kondisyon Skoru (VKS) Sınıflandırılması. Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Konferansı (Asyu 2019).
- Doğan, F., & Türkoğlu, İ. (2018). Derin Öğrenme Algoritmalarının Yaprak Sınıflandırma Başarımlarının Karşılaştırılması. *Sakarya University Journal of Computer and Information Sciences*, 1(1), 10-21.
- Girshick, R., Donahue, J., Darrell, T., & Malik, J. (2014). Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation. Paper presented at the Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition.
- He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. Paper presented at the Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition.
- KetoLution. (2016). VKS – Vücut Kondisyon Skoru. Retrieved 31.07.2019, 2019, from <https://www.ketolution.com/tr/bcs-body-condition-scoring/>
- Kızrak, M. A. (2018, 28.05.2018). Derine Daha Derine: Evrişimli Sinir Ağları. Retrieved 25.06.2019, 2019, from <https://medium.com/@ayyucekizrak/deri%CC%87ne-daha-deri%CC%87ne-evri%59Fimli-sinir-a%C4%9Flar%C4%B1-2813a2c8b2a9>
- Kızrak, M. A., & Bolat, B. (2018). Derin Öğrenme ile Kalabalık Analizi Üzerine Detaylı Bir Araştırma. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 11(3), 263-286.
- Krizhevsky, A., & Sutskever, I. (2012). H. Geoffrey E., "Alex Net,". *Adv. Neural Inf. Process. Syst*, 25, 1-9.
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). Imagenet classification with deep convolutional neural networks. Paper presented at the Advances in neural information processing systems.
- LeCun, Y., Bottou, L., Bengio, Y., & Haffner, P. (1998). Gradient-based learning applied to document recognition. *Proceedings of the IEEE*, 86(11), 2278-2324.
- Özkan, İ., & Ülker, E. (2017). Derin Öğrenme ve Görüntü Analizinde Kullanılan Derin Öğrenme Modelleri. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 6(3), 85-104.
- Roche, J. R., Friggens, N. C., Kay, J. K., Fisher, M. W., Stafford, K. J., & Berry, D. P. (2009). Invited review: Body condition score and its association with dairy cow productivity, health, and welfare. *Journal of dairy science*, 92(12), 5769-5801.
- Simonyan, K., & Zisserman, A. (2014). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *arXiv preprint arXiv:1409.1556*.
- Szegedy, C., Liu, W., Jia, Y., Sermanet, P., Reed, S., Anguelov, D., . . . Rabinovich, A. (2015). Going deeper with convolutions. Paper presented at the Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition.



# Clomazone Aktif Maddesinin Yarı Kurak Koşullarda Geleneksel Pamuk (*Gossypium hirsutum* L.) Tarlalarında Yabancı Ot Kontrolünde Çıkış Öncesi Herbisitlerle Tank Karışımı

Fırat Pala<sup>1\*</sup>, Hüsrev Mennan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Siir Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4394-8841)

<sup>2</sup> Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1410-8114)

(İlk Geliş Tarihi 1 Aralık 2019 ve Kabul Tarihi 31 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.658839)

**ATIF/REFERENCE:** Pala, F. & Mennan, H. (2019). Clomazone Aktif Maddesinin Yarı Kurak Koşullarda Geleneksel Pamuk (*Gossypium hirsutum* L.) Tarlalarında Yabancı Ot Kontrolünde Çıkış Öncesi Herbisitlerle Tank Karışımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1256-1262.

## Öz

Başarılı pamuk üretiminin kritik bileşenlerinden biri, etkili yabancı ot yönetimidir. Pamuk (*Gossypium hirsutum* L.), yabancı otlarla yeterince rekabet edemediğinden, özellikle ilk altı haftada, bazı yabancı ot türleri pamuk verimini önemli ölçüde azaltmaktadır. Ayrıca yabancı otlar pamuk hasadını zorlaştırabilir ve lifini kirletebilir. Türkiye geleneksel pamuk üretiminde (toleranslı ve dayanıklı olmayan çeşitler) özellikle geniş yapraklı yabancı ot kontrolü için tercih edilen temel yöntem, ekim öncesi veya çıkış öncesi herbisitlerin kullanılmasıdır. Bununla birlikte, farklı çıkış öncesi herbisitlerin karışımlarının etkileri hakkında fazla bilgi bulunmadığından, bu çalışma, pamukta çıkış öncesi bir karışım olarak uygulanan herbisitlerin etkinliğini ve seçiciliğini belirlemek için yürütülmüştür. Arazi denemeleri tesadüf blokları deneme desenine göre dört tekerrürlü olarak 11 farklı uygulama olacak şekilde tasarlanmıştır. Parseller 20 metrekare (4 m x 5 m) olarak kurulmuştur. Bu çalışmada herbisit uygulamaları 2015 yılında Diyarbakır'da gerçekleştirilmiş ve çift clomazone aktif maddesinin fluometuron, oxyfluorfen ve pendimethalin ile farklı dozlardaki karışımları kullanılmıştır. Clomazone 0.2 l ha<sup>-1</sup> + fluometuron 1,5 l ha<sup>-1</sup>, clomazone 0.2 l ha<sup>-1</sup> + fluometuron 2 l ha<sup>-1</sup>, clomazone 0.4 l ha<sup>-1</sup> + pendimethalin 1.5 l ha<sup>-1</sup> ve clomazone 0.3 l ha<sup>-1</sup> + pendimethalin 2 l ha<sup>-1</sup> karışımının yabancı ot kontrol etkinliğinin tam olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç, clomazone aktif maddesi ile yapılan herbisit karışımlarının çıkış öncesi uygulandığında yabancı ot kontrol etkinliği arttığını göstermektedir. Oxyfluorfen karışımlarında ürün seçiciliği açısından en tehlikeli hasar gözlenmiştir. En yüksek pamuk verimleri (> 5 t ha<sup>-1</sup>) sırasıyla clomazone 0.30 l ha<sup>-1</sup> + fluometuron 2 l ha<sup>-1</sup> ve clomazone 0.2 l ha<sup>-1</sup> + fluometuron 1.5 l ha<sup>-1</sup> karışımlarının uygulanmasından elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Pamuk, Ekim öncesi, Çıkış öncesi, Herbisitler, Yabancı ot.

## Compatibility of the Clomazone Active Ingredient with Pre-emergence Herbicides to Weed Control in Conventional Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) Fields in Semi-arid Conditions

### Abstract

One of the critical components of successful cotton production is effective weed management. Since cotton (*Gossypium hirsutum* L.) cannot compete sufficiently with weeds, especially in the first six weeks, a certain number of weeds significantly reduces cotton yield. In addition, weeds can make cotton harvest difficult and contaminate cotton fiber. The main preferred control method for broadleaf weeds in the conventional cotton of Turkey (non-tolerant and non-resistant varieties) is the use of pre-emergence herbicides. However,

\* Sorumlu Yazar: Siir Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0002-4394-8841, [firatpala@siirt.edu.tr](mailto:firatpala@siirt.edu.tr)

since there is not much information about the effects of mixtures of different pre-planting herbicides, the aim of this study is to evaluate the efficacy and selectivity of herbicides applied as a pre-emergence mixture in cotton. The randomized complete block design (RCBD) with four replications and eleven treatments was used in the field experiment. The plots were established to 20 square meters (4 m x 5 m). Herbicide applications in the study were carried out in Diyarbakir in 2015, and dual mixtures of clomazone, fluometuron, oxyfluorfen, and pendimethalin were used with different mixtures and doses. Clomazone 0.2 l ha<sup>-1</sup> + fluometuron 1.5 l ha<sup>-1</sup>, clomazone 0.2 l ha<sup>-1</sup> + fluometuron 2 l ha<sup>-1</sup>, clomazone 0.4 l ha<sup>-1</sup> + pendimethalin 1.5 l ha<sup>-1</sup> and clomazone 0.3 l ha<sup>-1</sup> + pendimethalin 2 l ha<sup>-1</sup> mixture was found to be complete weed control efficiency. This result shows that mixtures with clomazone active ingredient increase in the efficiency of herbicides pre-planting. Oxyfluorfen mixtures showed the most hazardous damage in terms of product selectivity. The highest cotton yield (> 5 t ha<sup>-1</sup>) was obtained from the application of mixes of clomazone 0.30 l ha<sup>-1</sup> + fluometuron 2 l ha<sup>-1</sup> and clomazone 0.2 l ha<sup>-1</sup> + fluometuron 1.5 l ha<sup>-1</sup>, respectively.

**Keywords:** Cotton, Pre-plant, Pre emergence, Herbicides, Weeds.

## Introduction

Cotton (*Gossypium hirsutum* L.), an important industrial plant, is a slow-growing during the first germination period and cultivated as a one-year crop although it is actually a perennial plant (Ortiz and Bourland, 1999; EDIS, 2019). Often, the most competitive weeds germinate before or at the same time as cotton. In this case, cotton seedlings compete with weeds to reach sources such as water, nutrients, and sunlight for growth. Weed flora of a region varies according to soil type and environmental conditions. However, the dominant species that are often the problem in cotton cultivated areas are *Amaranthus palmeri* S. Wats., *A. retroflexus* L., *Chenopodium album* L., *Convolvulus arvensis* L., *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Cyperus rotundus* L., *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv., *Hibiscus trionum* L., *Ipomoea purpurea* (L.) Roth., *Polygonum aviculare* L., *Setaria viridis* (L.) P. Beauv., *Solanum nigrum* L., *Sorghum halepense* (L.) Pers., *Tribulus terrestris* L. and *Xanthium strumarium* L. (Zhang, 2003; Economou et al., 2005; Walker et al., 2005) Kruger et al., 2009; Memon et al., 2014; Pala and Mennan 2014; Berger et al., 2015; Kraehmer, 2015).

Therefore, the control of weeds in the first period is very effective for the competition of cotton. In general, planted cotton requires 9 and 11 weeks for a weed-free period (Papamichail et al., 2002; Bukun, 2004). Therefore, if weeds are not controlled in this period, it may cause a decrease cotton yield between 10-90% (Berger et al., 2015; Nalini et al., 2015; Pala and Mennan, 2016). Weeds can also complicate harvesting and may interfere with the fiber as foreign matter, affecting fiber dyeing quality.

Effective early weed control in cotton maintains the yield potential of the crop. Pre-planting or pre-emergence herbicides are most preferred for the control of weeds in the cotton field of Turkey (PPP, 2019). These herbicides control some weeds before they reach the soil surface or when they exit, reducing the need for herbicides in the later development period. They move in the soil by rainfall, irrigation, and mechanical means can cling to the soil and provide weed-free areas. Moisture content is important for their activity in soil (Pala and Mennen 2017). Pendimethalin, trifluralin, fluometuron, and metolachlor are the most commonly applied herbicides for weed control in cotton before and/or before planting (Krutz et al., 2009; Charles et al., 2015; Pala and Mennan, 2018; PPP, 2019). There were some herbicides (trifloxysulfuron-sodium and pyriithiobac-sodium) to use after the emerging of cotton and weeds, it was known doubts regarding the use of these herbicides. It was important to investigate the effects of pre-plant and pre-emergence herbicide mixtures on weeds in cotton. Since cotton plants had a slower and longer life cycle compared to other plants, the risk of phytotoxicity to herbicides is high (Koger et al., 2007). For this reason, the effect of the active ingredients on the weeds as well as the effect on yield should be taken into consideration in the studies of herbicides (Streibig and Jensen 2000). This study focused on the efficiency and selectivity of tank mixes of clomazone with pre-plant and pre-emergence herbicides in cotton.

## 2. Material and Method

### 2.1. Studied Location

A field experiment was conducted in the cotton fields at Babahaki Village of Bismil district of Diyarbakir province in Southeast Anatolia region, in 2015 to study the effective weed management strategy with some pre-plant herbicides in cotton fields. Location of the trial field; 37°51'40.2"N 40°46'29.6"E with an altitude of 560 m. Base fertilizer 0.5 t ha<sup>-1</sup> compound super (20.20.0 + Zn) pre-planting soil preparation (mid-April), as the top fertilizer 0.2 t ha<sup>-1</sup> urea before the first water (first week of June) and 0.2 t ha<sup>-1</sup> calcium ammonium nitrate (26%) was used after the first irrigation (last week of June). Drip irrigation was performed 7 times for 24 hours with two weeks intervals. bollworm (*Helicoverpa armigera*), cotton leafworm (*Spodoptera littoralis*) and spiny bollworm (*Earias insulana*) against chlorantraniliprole 200 g / l SC 0.2 l ha<sup>-1</sup> insecticide spraying and against cotton seedling diseases (Soil origin fungi such as *Rhizoctonia*, *Fusarium*, *Alternaria*, *Verticillium*, *Aspergillus*, *Pythium* and *Thielaviopsis*) fertilization (seaweed, organic matter, trace elements).

The experiment was conducted on one of the most widely cultivated cotton cultivars Stoneville-468 in Diyarbakir, cultivated area. Cotton was sown in the first week of May to a depth of 3-5 cm between 72 cm inter row and 10 cm intra row. In the last week of April, before spraying, disinfestations were carried out at windless and calm hours of the day. Extreme weather conditions such as prolonged drought, heavy rainfall, late frost and hail were not observed during the trial period. During the application, the temperature was measured as 23°C, relative humidity 52%, wind speed 3.5 km h<sup>-1</sup> (MS, 2015).

### 2.2. Experimental Design and Process

Clomazone, fluometuron, oxyfluorfen and pendimethalin effective substances used in the experiment were given in Table 1.

Table 1. Effective active ingredients used in cotton in Diyarbakir

Herbicide*	Trade	Form	Dose**	Mode of action***
Clomazone	Titan	EC	1.50	13, (Pigment inhibitor, Diterpene, F3, Isoxazolidinone)
Fluometuron	Cottonex	SC	2.00	7 (Photosynthesis inhibitor, Photosystem II, C2, Urea)
Oxyfluorfen	Goal 4F	SC	0.40	14 (Cell membrane disruptors, PPO, E, Diphenylether)
Pendimethalin	Stomp Extra	CS	3.00	3 (Seedling inhibitor, Microtubule, K1, Dinitroaniline)

\* BKU (2017), \*\*Dose (1 ha<sup>-1</sup>), \*\*\* Mode of action according to HRAC (2019)

The field experiment was established with randomized block design with four replications. The herbicide mixture doses and the witness (weed-free parcel) included in the experiment constitute the characteristics of the experiment. The plots were kept at 4 m x 5 m = 20 m<sup>2</sup>. 1 m between the blocks and 0.5 m between the plots are left safety strip. The application was carried out with a sprayer with a spray arm operating at constant pressure (3 atm) and a fan beam (TT-110.02) with multiple nozzles (0.5 m between the ends) providing uniform distribution throughout the experiment field. Herbicide mixtures and ratios used in the experiment were given Table 2.

Table 2. List of treatments evaluated in cotton herbicide selectivity test in Diyarbakir

Treatments	Active ingredients of herbicides	Dose (1 ha <sup>-1</sup> )
T <sub>1</sub>	clomazone + oxyfluorfen	0.20 + 0.25
T <sub>2</sub>	clomazone + oxyfluorfen	0.30 + 0.25
T <sub>3</sub>	clomazone + oxyfluorfen	0.40 + 0.25
T <sub>4</sub>	clomazone + oxyfluorfen	0.20 + 0.30
T <sub>5</sub>	clomazone + oxyfluorfen	0.20 + 0.35
T <sub>6</sub>	clomazone + pendimethalin	0.20 + 1.50
T <sub>7</sub>	clomazone + pendimethalin	0.30 + 2.00
T <sub>8</sub>	clomazone + pendimethalin	0.40 + 1.50
T <sub>9</sub>	clomazone + fluometuron	0.20 + 1.50
T <sub>10</sub>	clomazone + fluometuron	0.30 + 2.00
T <sub>11</sub>	control	0

Since it was known that cotton germinates about 8 days after sowing (Salgado et al., 2002), herbicides were applied 3 days after sowing before the emergence (pre-emergence) and the effect (%) and selectivity (%) on the crops were investigated. Measurements were made in randomly selected areas of 1 m<sup>2</sup>. In order to prevent weed effect in the selectivity study, all plots were cleaned from weeds by hand weeding or tractor hoeing during the cotton production season. The weeds were specifically recorded using 1.0 m x 1.0 m quadrat from three random locations on each plot. The weeds falling within the frames of the quadrat were collected, categorized into grasses and broad-leaved weeds, shade dried and later dried in the hot-air oven at 80°C for 72 h. The total dry weight of grasses and broadleaved weeds recorded in g m<sup>-2</sup>. Weed control efficiency (WCE, %) of herbicides were made 14, 28 and 56 days after herbicide application (DAT 14, DAT 28, and DAT 56) and the symptoms (yellowing, deformation, drying, etc.) of the weeds were clearly and accurately. The visual scale was evaluated between 0-100% (0% = no effect, 100% = complete weed control). Weights were determined by harvesting weeds in an area of 1 m<sup>2</sup>. WCE (%) was calculated as per the procedure [1] given by Main et al. (2010).

$$WCE(\%) = \frac{DW_c - DW_t}{DW_c} \times 100 \quad [1]$$

Where, WCE—weed control efficiency (percent); DW<sub>c</sub>—weed biomass (g m<sup>-2</sup>) in control plot; DW<sub>t</sub>—weed biomass (g m<sup>-2</sup>) in treated plot.

Crop injury (%) were evaluated between 1 and 9 (1 = no damage, 9 = complete plant death) by the selectivity scale proposed by EWRC (1964) 7, 15 and 28 days after cotton germination (Puntener, 1981). All cultural processes, bollworm cotton leafworm, and spiny bollworm were tested, also defoliant were used. Thus, herbicide applications became the only variable. crop injury in this study plant height (cm) and cotton yield (t ha<sup>-1</sup>) were investigated for each plot. Such these regarding agronomic characters, ten competitive plants were randomly selected from each plot and observations were recorded for growth and yield attributes.

## 2.4. Statistical Analysis

The data obtained from each plot were calculated by converting it to decare. In the study, the values obtained for each feature, JMP 5.0.1. using the statistical package program; The averages were grouped according to the One-way ANOVA (Analysis of Variance) with LSMMeans Tukey HSD (Honestly Significant Difference) test for comparing multiple treatments were determined.

## 3. Result and Discussion

After planting of cotton and weeds before germination were applied all herbicide mixtures. In the experiment field; *Amaranthus albus* L., *A. retroflexus* L., *Chenopodium album* L., *Chrozophora tinctoria* (L.) Rafin., *Convolvulus arvensis* L., *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Cyperus rotundus* L., *Datura stramonium* L., *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop., *Echinochloa colonum* (L.) Link., *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv., *Heliotropium europaeum* L., *Hibiscus trionum* L., *Physalis angulata* L., *Solanum nigrum* L., *Sorghum halepense* (L.) Pers., *Tribulus terrestris* L. ve *Xanthium strumarium* L. weed species were found. The effects of herbicide mixtures on weeds were found to be significant ( $p < 0.05$ ) in applications and replications in ANOVA. Important factors were subjected to Tukey test and applications are given in Table 3.

Table 3. Effectiveness of herbicide blends on weeds in cotton fields prior to emergence (%)

Treatments	WCE (%)					
	14. Days	EWRS	28. Days	EWRS	56. Days	EWRS
T <sub>1</sub>	62.75 <sup>e</sup>	Less	68.25 <sup>e</sup>	Less	60.50 <sup>h</sup>	Less
T <sub>2</sub>	73.25 <sup>d</sup>	Moderate	68.13 <sup>e</sup>	Less	68.00 <sup>g</sup>	Less
T <sub>3</sub>	81.50 <sup>c</sup>	Good	82.25 <sup>d</sup>	Good	79.75 <sup>f</sup>	Moderate
T <sub>4</sub>	85.88 <sup>b</sup>	Good	82.38 <sup>d</sup>	Good	82.25 <sup>e</sup>	Good
T <sub>5</sub>	88.88 <sup>ab</sup>	Good	85.38 <sup>cd</sup>	Good	88.75 <sup>d</sup>	Good
T <sub>6</sub>	88.88 <sup>ab</sup>	Good	88.88 <sup>bc</sup>	Good	89.50 <sup>d</sup>	Good
T <sub>7</sub>	90.50 <sup>a</sup>	Full	89.38 <sup>b</sup>	Good	90.88 <sup>c</sup>	Full
T <sub>8</sub>	91.25 <sup>a</sup>	Full	90.88 <sup>b</sup>	Full	92.00 <sup>c</sup>	Full
T <sub>9</sub>	91.75 <sup>a</sup>	Full	88.63 <sup>bc</sup>	Good	93.25 <sup>b</sup>	Full
T <sub>10</sub>	92.00 <sup>a</sup>	Full	95.00 <sup>a</sup>	Full	94.75 <sup>a</sup>	Full
T <sub>11</sub>	0.00 <sup>f</sup>	0	0.00 <sup>f</sup>	0	0.00 <sup>i</sup>	0

Differences between the means indicated by the same letter are not significant at  $P < 0.05$  level

The effect of herbicide mixtures on weeds began to be seen during germination and emergence and according to the results of the analysis, their importance for all three observation periods were recorded. Accordingly, all the mixtures except clomazone + oxyfluorfen (0.20 l + 0.25 l), clomazone + oxyfluorfen (0.30 l + 0.25 l), clomazone + oxyfluorfen (0.40 l + 0.25 l) were found to provide efficacy in over 80% weed control. It was determined that clomazone + fluometuron (0.30 l + 2 l) mixture gave the best control (95%). Pre-emergence herbicides require more precipitation for activation. The effectiveness of the mixtures on the weeds % may have been influenced by rainfall and the more regular rainfall regime on the day after planting. Furthermore, no mixture showed sufficient efficacy in *Physalis angulata* and *Xanthium strumarium* species.

The selectivity of the herbicides refers to the phytotoxicity (crop injury) caused by the product due to its mechanism of action (Cobb, 1992). It covers all the morphological and physiological symptoms that occur in the plant after the exposure of an herbicide to an herbicide. The selectivity of the herbicides is directly proportional to the uptake and transport of the active substances and inversely proportional to the detoxification. The results of visual product damage assessments 7, 15 and 28 days after cotton germination are given in Table 4.

Table 4. Phytotoxicity (%) formed in cotton by herbicide mixtures before emergence

Treatments	Crop Injury (%)					
	7. Days	EWRS	15. Days	EWRS	28. Days	EWRS
T <sub>1</sub>	3.74 <sup>de</sup>	1	5.86 <sup>cd</sup>	1	0.98 <sup>cd</sup>	1
T <sub>2</sub>	3.19 <sup>ef</sup>	1	6.81 <sup>bc</sup>	1	2.65 <sup>bcd</sup>	1
T <sub>3</sub>	4.94 <sup>c</sup>	1	5.84 <sup>cd</sup>	1	3.96 <sup>bc</sup>	1
T <sub>4</sub>	8.74 <sup>b</sup>	1	6.90 <sup>bc</sup>	1	5.51 <sup>ab</sup>	1
T <sub>5</sub>	10.05 <sup>a</sup>	2	17.28 <sup>a</sup>	2	7.8 <sup>a</sup>	1
T <sub>6</sub>	3.14 <sup>ef</sup>	1	6.33 <sup>cd</sup>	1	1.81 <sup>de</sup>	1



T <sub>7</sub>	4.31 <sup>cd</sup>	1	5.26 <sup>cd</sup>	1	3.23 <sup>cde</sup>	1
T <sub>8</sub>	3.66 <sup>def</sup>	1	8.61 <sup>b</sup>	1	1.50 <sup>cde</sup>	1
T <sub>9</sub>	3.36 <sup>def</sup>	1	4.68 <sup>d</sup>	1	0.10 <sup>de</sup>	1
T <sub>10</sub>	2.61 <sup>f</sup>	1	5.65 <sup>cd</sup>	1	2.91 <sup>bcd</sup>	1
T <sub>11</sub>	0.00 <sup>g</sup>	1	0.00 <sup>e</sup>	1	0.00 <sup>e</sup>	1

Differences between the means indicated by the same letter are not significant at  $P < 0.05$  level

In ANOVA, applications and repetitions were significant ( $p < 0.05$ ). 11 days after cotton planting cotton was seen to exit. All treatments except control caused crop injury to cotton plants and at 7, 15 and 28 days after cotton germination, symptoms of varying concentrations of fe toxicity appeared in the cotyledon, 2-4 and 4-6 leaf periods, respectively.

Applications in the 7th day observations of phytotoxicity (T<sub>1</sub> ef, T<sub>2</sub> ef, T<sub>3</sub> c, T<sub>4</sub> b, T<sub>5</sub>, T<sub>6</sub> ef, T<sub>7</sub> cd, T<sub>8</sub> def, T<sub>9</sub> def, T<sub>10</sub>, T<sub>11</sub> g) and replication (1, 4 a, 2 b, 3 b) were also statistically significant ( $p < 0.05$ ). Levels that are not interconnected by the same letter are significantly different. On the seventh day, clomazone + oxyfluorfen mixtures (0.20 l + 0.35 l) caused the highest levels of crop injury. Phytotoxicity of the oxyfluorfen active ingredient in PPO (Protoporphyrinogen oxidase) inhibitor diphenyl ether group was similar to the injuries seen in the cell membrane structure necrosis in cotton cotyledons of this mixture (Yamashita et al, 2008). Clomazone + fluometuron (0.20 l + 1.50 l) caused low crop injury and was identified as the most selective of the tested.

The difference between the applications (T<sub>1</sub> cd, T<sub>2</sub> bc, T<sub>3</sub> cd, T<sub>4</sub> bc, T<sub>5</sub>, T<sub>6</sub> cd, T<sub>7</sub> cd, T<sub>8</sub>, T<sub>9</sub> d, T<sub>10</sub> cd, T<sub>11</sub> e) in both years of the experiment was also statistically significant. It was found. On day 15, clomazone + oxyfluorfen mixtures (0.20 l + 0.35 l) caused the highest levels of crop injury. Clomazone + fluometuron (0.20 l + 1.50 l) caused minimal crop injury. All results determined on day 15 were found to be lower than the 15th day damage symptoms ( $> 20\%$ ) of the active substances diuron (0.93 kg ha<sup>-1</sup>) and alachlor (2.5 kg ha<sup>-1</sup>) by Siqueri (2002).

Applications on the 28th day observations of phytotoxicity in the experiment (T<sub>1</sub> T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub> f, T<sub>5</sub>, T<sub>6</sub>, T<sub>7</sub>, T<sub>8</sub>, T<sub>9</sub>, T<sub>10</sub> i, T<sub>11</sub> k) and repeats (1 a, 2 b, 3 c, 4 d) was also statistically significant. On the twenty-eighth day, phytotoxicity in the 1st, 8th and 9th applications was almost lost. Freitas et al (2006), metolachlor-S effective substance in cotton after a period of crop injury and phytotoxicity of herbicides can be passed to support the detection of the heart can be reduced or can pass. Although the cotton plant was able to overcome the damages caused by the said herbicide mixtures, only the clomazone + oxyfluorfen mixtures (0.20 l + 0.35 l) had significant phytotoxicity (7.89%) on day 28. However, the product ED<sub>10</sub> value is not more than 10%.

When the data on the selectivity of herbicidal mixtures in the plant were evaluated, it was observed that the mixtures made with clomazone active ingredient had little effect on the carotenoid biosynthesis of cotton (especially mixture applications 4 and 5). However, new vivid, yellow and green pigments have emerged. Since oxyfluorfen has both leaf and soil activity, it has caused burn spots and spots on cotton leaves and also causes tanning and yellowing in the overall appearance of the plant. The highest phytotoxicity was determined in the mixture applications with this active ingredient (4th application 5.51% and 5th application 7.89%). Pendimethalin mixtures, although a little weakening in root development, shortening and thickening of the lateral roots were noticeable. This was felt by the poor coverage of the cotton and slightly deformed at the top of the plant in the 7th mixture (3.23%). Fluometuron mixtures have little effect on the chlorophyll of the cotton. It is understood from the slight yellowing and bronzing of the leaf edge (10th application 2.91%). Cotton roots were examined under microscope after cleaning in the laboratory, but no direct damage was seen. The most promising selectivity was obtained from clomazone 0.20 l + fluometuron 1.50 l mixture (0.10%). The effect of pre-emergence herbicide mixtures used in cotton experiment on cotton plant height and mass yield of cotton is given in Table 5.

Table 5. Effect of plant herbicides on plant height and yield before weaning (t ha<sup>-1</sup>)

Treatments	Plant length (cm)	Cotton yield (t ha <sup>-1</sup> )
T <sub>1</sub>	66.41 <sup>abcd</sup>	4.82 <sup>bc</sup>
T <sub>2</sub>	65.7 <sup>bcd</sup>	4.88 <sup>abc</sup>
T <sub>3</sub>	63.9 <sup>cd</sup>	4.74 <sup>c</sup>
T <sub>4</sub>	68.76 <sup>abc</sup>	4.78 <sup>c</sup>
T <sub>5</sub>	62.38 <sup>d</sup>	4.72 <sup>c</sup>
T <sub>6</sub>	65.51 <sup>bcd</sup>	4.94 <sup>abc</sup>

T <sub>7</sub>	71.45 <sup>ab</sup>	4.96 <sup>abc</sup>
T <sub>8</sub>	65.55 <sup>bcd</sup>	4.84 <sup>abc</sup>
T <sub>9</sub>	71.91 <sup>a</sup>	5.05 <sup>ab</sup>
T <sub>10</sub>	64.95 <sup>cd</sup>	5.08 <sup>a</sup>
T <sub>11</sub>	54.85 <sup>e</sup>	3.33 <sup>d</sup>

Differences between the means indicated by the same letter are not significant at P < 0.05 level

The difference between the applications (abcd, T<sub>2</sub> bcd, T<sub>3</sub> cd, T<sub>4</sub> abc, T<sub>5</sub> d, T<sub>6</sub> bcd, T<sub>7</sub> abs, T<sub>8</sub> bcd, T<sub>9</sub>, T<sub>10</sub> cd, T<sub>11</sub> e) was also found to be statistically significant (p < 0.05). Levels that are not interconnected by the same letter are significantly different. The lowest plant height was determined in the control plot (54.85 cm). It was found that clomazone 0.20 l + oxyfluorfen 0.35 l mixture significantly decreased cotton plant height (62.38 cm). It was observed that cotton plant height ranged between 55-72 cm.

The difference between the applications (T<sub>1</sub> bc, T<sub>2</sub> abc, T<sub>3</sub> c, T<sub>4</sub> c, T<sub>5</sub> c, T<sub>6</sub> abc, T<sub>7</sub> abc, T<sub>8</sub> abc, T<sub>9</sub> abs, T<sub>10</sub>, T<sub>11</sub> d) was found to be statistically significant (p < 0.05). Levels that are not interconnected by the same letter are significantly different. Dan et al (2011) Clomazone + oxyfluorfen (1.00 + 0.19 kg ha<sup>-1</sup>) in the cotton 12.8-13.5%, yield loss of yield, the study that we do in this study compared to other applications of this mixture application yields up to 0.36 t ha<sup>-1</sup> determination of yield reduction. supports.

## 4. Conclusion

The development and production of transgenic cotton varieties tolerant to herbicides in our country are not allowed. Therefore, various tactics for the control of weeds, which are problematic, need to be researched, developed and expanded. Since it is known that different herbicides alone are insufficient in cotton fields, the effect of tank mixes of herbicides at different rates on weeds, yield and yield were investigated in ST 468 cotton variety in Diyarbakir. Clomazone 0.20 l ha<sup>-1</sup> + fluometuron 1.50 l ha<sup>-1</sup>, clomazone 0.30 l ha<sup>-1</sup> + fluometuron 2.00 l ha<sup>-1</sup>, clomazone 0.40 l ha<sup>-1</sup> + pendimethalin 1.50 l ha<sup>-1</sup> and clomazone 0.30 l ha<sup>-1</sup> + pendimethalin 2.00 l ha<sup>-1</sup> mixtures was found to be complete weed control efficiency, respectively. This result showed that mixtures with clomazone active ingredient increase the efficiency of herbicides pre-planting. The riskiest crop injury in terms of crop selectivity was observed in oxyfluorfen mixtures. The highest cotton yield (> 5 t ha<sup>-1</sup>) was obtained from the application of mixtures of clomazone 0.30 l ha<sup>-1</sup> + fluometuron 2.00 l ha<sup>-1</sup> and clomazone 0.20 l ha<sup>-1</sup> + fluometuron 1.50 l ha<sup>-1</sup>, respectively. One of the important aspects of using pre-emergence herbicide mixtures is that it is an alternative method that can help prevent the spread of weeds resistant to glyphosate in recent years. In the study, it was concluded that clomazone and fluometuron effective herbicides can be used as a mixture for the control of weeds in cotton before emergence.

## References

- Berger, S. T., Ferrell, J. A., Rowland, D.L., Webster, T. M. (2015). Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) competition for water in cotton. *Weed Sci.*, 63, 928-935. <https://doi.org/10.1614/WS-D-15-00062.1>
- Bukun, B. (2004). Critical periods for weed control in cotton in Turkey. *Weed Res.*, 44, 404-412. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2004.00415.x>
- Cobb A. H., Reade P. H. (2011). *Herbicides and Plant Physiology*. 2nd edn., Wiley-Blackwell: A John Wiley & Sons, Chichester, UK.
- Dan, H. A., Barroso, A. L. L., Oliveira, Jr R. J., Constantin, J., Dan, L. G. M., Braz, G. B. P., Oliveira-Neto, A. M. and D'Avila, R. P. (2011). Selectivity of clomazone applied alone or in tank mixtures to cotton, *Planta Daninha*, 29(3), 601-607. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582011000300014>
- Economou, G., Bilalis, D., Avgoulas, C. (2005). Weed flora distribution in Greek cotton fields and its possible influence by herbicides. *Phytoparasitica*, 33, 406-419. <https://doi.org/10.1007/BF02981309>
- EDIS. (2019). University of Florida IFAS Extension by Wright, D.L., Small, I and Martinil, X.. Production of ultra-narrow-row cotton. Original publication date August 2000. Revised July 2011 and November 2018. [accessed on: 05 Nov. 2019] Available at: <https://edis.ifas.ufl.edu/aa267>.
- EWRC. 1964. Report of 3<sup>rd</sup> and 4<sup>th</sup> meetings of EWRC (European Weed Research Council) - Committee of Methods in Weed Research. *Weed Res.*, 4(1), 88.
- Freitas, R. S., Berger, P. G., Ferreira, L. R., Silva, A. C., Cecon, P. R., Silva, M. P. (2006). Weed management of cotton under no-tillage. *Planta Daninha*, 20(2), 197-205. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582006000200017>
- HRAC. (2019). Herbicide Resistance Action Committee. [accessed on: 19 Apr. 2019] Available at: <https://hracglobal.com/>
- Koger, C. H. (2007). Effect of residual herbicides used in the last post-directed application on weed control and cotton yield in glyphosate- and glufosinate-resistant cotton. *Weed Technol.*, 21(2), 378-383. [https://doi.org/10.1614/0890-037X\(2007\)21\[378:EORHUI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0890-037X(2007)21[378:EORHUI]2.0.CO;2)

- Kraehmer, H. (2016). Atlas of weed mapping. John Wiley & Sons, Inc, Wiley-Blackwell, New York USA.
- Kruger, G. R., Johnson, W. G., Weller, S. C., Owen, M. D. K., Shaw, D. R., Wilcut, J. W., Jordan, D. L., Wilson, R. G., Bernards, M. L., Young, B. G. (2009). US grower views on problematic weeds and changes in weed pressure in glyphosate resistant corn, cotton, and soybean cropping systems. *Weed Technol.* 23, 162-166. <https://doi.org/10.1614/WT-08-040.1>
- Krutz, L. J., Locke, M. A., Steinriede, R. W. (2009). Interactions of tillage and cover crop on water, sediment, and pre emergence herbicide loss in glyphosate-resistant cotton: implications for the control of glyphosate-resistant weed biotypes. *J. Environ. Qual.*, 38(3), 1240-1247. <https://doi.org/10.2134/jeq2008.0342>
- Main, C. L., Michael, A. S., Murdock, E. C. (2007). Weed response and tolerance of enhanced glyphosate resistant cotton to glyphosate. *J. Cotton Sci.*, 11(2), 104-109.
- Memon, R. S., Bhatti, G. R., Khalid, S., Ahmed, S. (2014). Illustrated weed flora of cotton crop of Khairpur district, Sindh. *Pak. J. Bot.*, 46, 5-12.
- MS. (2015). Meteorological Service. [accessed on: 27 Jun. 2015] Available at: <https://www.mgm.gov.tr/>
- Nalini, K., Muthukrishnan, P., Chinnusamy, C., Vennila, C. (2015). Weeds of cotton—A Review. *Agricultural Reviews*, 36(2). <https://doi.org/10.5958/0976-0741.2015.00016.1>
- Ortiz, C.E., Bourland, F. M. (1999). Comparative early growth of cotton seedlings expressing a visible true leaf at emergence and normal phenotype seedlings. *J. Agric. Univ. P. R.*, 83, 19-31.
- Pala, F., Mennan, H. (2014). Investigation of trifluralin resistance in some species of pigweed (*Amaranthus* spp.) in cotton fields of the Southeastern Anatolia Region. *Turkish Journal of Weed Science*, 17(1), 1-8.
- Pala, F., Mennan, H. (2016). Determination of pigweed (*Amaranthus* spp.) species and their frequency and density in cotton fields in Southeastern Anatolia Region, Turkey. *Journal of Agricultural Faculty of Mustafa Kemal University*, 21(2), 139-148.
- Pala, F., Mennan, H. (2017). Weed control methods in cotton fields of Diyarbakir. *International Conference on Agriculture, Forest, Food Sciences and Technologies*, 15-17 May, Cappadocia, Turkey.
- Pala, F., Mennan, H. (2018). Current state of weed management and problematic weeds in cotton fields of Diyarbakir. *Journal of Agriculture Faculty of Ege University*, 55(1), 111-117. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.330081>
- Papamichail, D., Eleftherohorinos, I., Froud-Williams, R., Gravanis, F. (2002). Critical periods of weed competition in cotton in Greece. *Phytoparasitica*, 30, 105-111. <https://doi.org/10.1007/BF02983976>
- PPP. (2019). Plant Protection Products. [accessed on: 01 May. 2019] Available at: <https://bku.tarim.gov.tr/>
- Puntener, W. (1981). Manual for field trials in plant protection. Second Edition. Ciba-Geigy Limited, Basle, Switzerland.
- Salgado, T. P., Alves, P. I. C. A., Mattos, E. D., Martins, J. F., Hernandez, D. D. (2002). Weed interference periods in the cotton crop (*Gossypium hirsutum*). *Planta Daninha*, 20(3), 373-379. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582002000300007>
- Siqueri, F., V. (2002). Controle de ervas daninhas em pré-emergência. *Boletim de Pesquisa de Algodão. Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária. Mato Grosso*, 8p.
- Streibig, J. C., Jensen, J. E. (2000). Actions of herbicides in mixtures. In *Herbicides and their mechanisms of action* (pp. 152-180). CRC Press, Sheffield, UK.
- Walker, S. R., Taylor, I. N., Milne, G., Osten, V. A., Hoque, Z., Farquharson, R. J. (2005). A survey of management and economic impact of weeds in dryland cotton cropping systems of subtropical Australia. *Aust. J. Exp. Agric.*, 45, 79-91. <https://doi.org/10.1071/EA03189>
- Yamashita, O. M., Mendonça, F. S., Orsi, J. V. N., Resende, D. D., Kappes, C., Guimarães, S. C. (2008) Effect of reduced oxyfluorfen rates on cotton cultivars. *Planta Daninha*, 26(4), 917-921. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582008000400024>
- Zhang, Z. P. (2003). Development of chemical weed control and integrated weed management in China. *Weed Biol. Manag.*, 3, 197-203. <https://doi.org/10.1046/j.1444-6162.2003.00105.x>



# Dijital Pazarlamada Tüketici Algısı, İnternette Alışveriş Üzerine Bir Araştırma

Hüseyin Koçarslan<sup>1\*</sup>, Halime Kılınç<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Selçuk Üniversitesi, İşletme Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6681-538X)

<sup>1</sup> Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8989-9870)

(İlk Geliş Tarihi 6 Aralık 2019 ve Kabul Tarihi 31 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.659295)

**ATIF/REFERENCE:** Koçarslan, H. & Kılınç, H. (2019). Dijital Pazarlamada Tüketici Algısı, İnternette Alışveriş Üzerine Bir Araştırma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1263-1273.

## Öz

Dijital pazarlama; dijital kanalları kullanan verimli bir pazarlama yöntemidir. Bu kanallar; internet, sosyal medya ve mobil platformlardır. Burada pazarlamanın temel prensipleri geçerliliğini korumakla birlikte pazarlamada yeni anlayışlar ve yeni müşteri deneyimleri de ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden işletmeler hem yeni müşteriler kazanmak için hem de satış yapmak için sosyal medyayı ve online alışverişini kullanmaktadırlar. Dijital pazarlamanın en önemli unsuru olan müşteriler, gerek zaman, gerek uygun fiyat ve gerekse aradıkları ürünlere ulaşma konusundaki kolaylıkları nedenleriyle dijital ortamda alış verişini tercih edebilmektedir.

Bu çalışma, tüketicilerin dijital pazarlama ve internette alışveriş üzerine algıları ve davranışları ölçülmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca katılımcıların dijital pazarlama ve internette alışveriş yapma konularındaki algıları; cinsiyet, medeni durum, meslek, yaş ve aylık gelir durumu değişkenlerine göre istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Araştırma, Konya ilinde yaşayan farklı meslek gruplarına mensup toplam 167 kişi üzerinde yapılan anket çalışması ile gerçekleştirilmiştir.

Araştırmadan sonuçlarına göre, katılımcıların %91,6'sının internette alışveriş yaptığı; internette alışveriş sıklığı en çok %38,9 ile yılda 1-2 kez olduğu; internette alışverişe ilk tercih nedenleri %59,3 oranla internette satılan ürünlerin indirimli ve düşük fiyatlı oldukları için olduğu; internette alışverişe %55,7'lik oranla ilk sırada giyim eşyası ve aksesuar olduğu saptanmıştır. Katılımcıların online alışverişini faktörleri arasında en çok hizmet kalitesi, sistem kalitesi ve güven boyutlarına en az öznel form ile kullanım kolaylığı ve tutum boyutlarına katıldıkları saptanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Dijital pazarlama, Tüketici algıları ve davranışları

## Consumer Perception in Digital Marketing, A Research On Shopping on the Internet

### Abstract

Digital marketing; Using digital channels is an efficient marketing method. These channels are; internet, social media and mobile platforms. While the basic principles of marketing are still valid and applied, new insights and new customer experiences emerge in marketing. Therefore, businesses use social media and online shopping to gain both new customers and sales. Customers, who are the most important elements of digital marketing, can choose to exchange digitally in terms of time, price, and convenience to reach the products they are looking for.

This study aims to measure the perceptions and behaviors of consumers on digital marketing and internet shopping. In addition, participants' perceptions about digital marketing and online shopping; gender, marital status, occupation, age and monthly income status were evaluated statistically. The study was carried out with a survey conducted on 167 people from different occupational groups living in the province of Konya.

According to the results of the survey, 91.6% of the participants were shopping online; The frequency of shopping from the internet is 1-2 times a year with a maximum of 38.9%; the first choice of online shopping for 59.3% compared to the products offered for sale on

\* Sorumlu Yazar: Selçuk Üniversitesi, İşletme Bölümü, Konya, Türkiye, ORCID: 0000-0002-6681-538X, [kocarslan1@gmail.com](mailto:kocarslan1@gmail.com)

the internet for discount and low-priced; 55.7% of the Internet shopping from the first place clothing and accessories were found to be the first. It was determined that the participants had the highest quality of service, system quality and confidence dimensions, and the least personal form and ease of use and attitudes.

**Keywords:** Digital marketing, consumer perceptions and behaviors

## 1. Giriş

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte mobil cihazların ve internetin kullanımının artması insanların yaşam şeklini değiştirmesi gibi alışveriş alışkanlıklarını da değiştirmiştir (Ryan, 2016:1660). Bu önemli ve olumlu gelişim işletmelerin dijital medya ve buna benzeyen yeni yollarla hedef müşterileri ile iletişim kurmalarına neden olmaktadır. Tüketicilerinde bu gelişmelere olumlu cevap vermesi ile dijital pazarlamanın kullanımı artmış ve bu pazarlama alanı işletmeler için önemli hale gelmiştir. İşletmelerin karşısında artık “dijital bir tüketiciler” söz konusudur. İşletmeler için bu yeni nesil tüketicilerin isteklerini, hal ve davranışlarını anlamaları önem arz etmektedir. Bunun ise zor bir işlem olduğu söylenebilir (Alan, Kabadayı ve Erişke, 2018:493).

Dijital platformlar ve dijital kanallar sayesinde işletmeler, daha büyük müşteri kitlelerine daha az maliyetler ile ulaşarak üretmiş oldukları mamulleri ve hizmetleri daha iyi tanıtmakta, satış sonrası da hizmet imkânları sunarak tüketicilerinde de hızlı ve kolay bir şekilde geri dönüşüm imkânı sağlamaktadır (Ryan, 2016:1660).

Dijital çağ olarak adlandırılan 21. yüzyıl, pazarlama kavramını da çok önemli etkiler yapmakta ve onu geleneksel boyutların dışına çıkarmaktadır. Bu süreçte pazarlama olgusu, hem mekânsal hem de süreç hem de yöntem olarak birçok değişimi ve gelişimi yaşamaktadır. Bu çağın getirdiği bu anlayış, dijital pazarlama kavramını ortaya çıkarmıştır. Dijital pazarlama, şirketlerin ve markaların önem verdiği ve giderek artan bir şekilde yaygınlaşan bir pazarlama türü haline gelmektedir. Bunun altında yatan en önemli nedenlerden birisi, insanların dijital ürün ve teknoloji kullanımlarının yaygınlaşması ve dijital yaşamın onların zamanlarının önemli bir kısmında yer alması olarak gösterilebilir.

Dijital pazarlama; dijital kanalları kullanan verimli bir pazarlama yöntemidir. Bu kanallar; internet, sosyal medya ve mobil platformlardır. Burada pazarlamanın temel prensipleri geçerliliğini korumakta ve uygulanmakta olmakla birlikte pazarlamada yeni anlayışlar ve yeni müşteri deneyimleri de ortaya çıkmaktadır. Günümüzde dijital pazarlama müşterilerine benzersiz yaklaşımlar sunmakta ve yeni deneyimler yaşatmaktadır.

Günümüzde çoğu insan sosyal medya üyeliklerinden en az birine veya birkaç tanesine sahiptir. Ayrıca insanların sosyal medyada harcadıkları zamansa azımsanacak kadar düşük değildir. Sosyal medyanın milyonların ilgisini üzerine çeken ve onları bir arada tutan bir platform olduğu düşünüldüğünde, iş dünyasının bu durumu önemsememesi pek mümkün değildir. Bu yüzden İşletmeler gerek yeni müşteriler kazanmak için gerekse satış yapmak için sosyal medyayı ve online alışverişini kullanmaktadır. Diğer taraftan büyük ve orta düzeyde şirketler dijital pazarlamaya bütçe ayırmadığında ve bu konuyu önemsemediğinde rakiplerinin gerisinde kalacakları hakkında birçok öngörü de bulunmaktadır. Bu yüzden şirketler artık dijital ortamda kendilerini tanıtmaya ve satış potansiyellerini yükseltmeye çalışmaktadırlar.

Dijital pazarlamanın en önemli unsuru olan müşteriler, geleneksel pazarlamayı tercih etmekle birlikte günümüzde dijital pazarlamaya ilgileri oldukça artmıştır. Müşteriler; gerek zaman, gerek uygun fiyat gerekse aradıkları ürünlere ulaşma konusundaki kolaylıkları nedenleriyle dijital ortamda alış verişini tercih edebilmektedir.

Bu çalışmada tüketicilerin dijital pazarlama ve internette alışveriş üzerine algıları ve tüketici davranışları ölçülmeye çalışılmıştır. Katılımcıların dijital pazarlama ve internette alışveriş yapma konularındaki algıları; cinsiyet, medeni durum, meslek, yaş ve aylık gelir durumu değişkenlerine göre istatistiksel açıdan anlamı değerlendirilmiştir.

## 2. Literatür

“Pazarlamanın son yıllarda çok hızlı bir şekilde gelişmesine neden faktörlerin başında hiç şüphesiz teknolojide yaşanan gelişmeler gelmektedir. Özellikle üretim, bilişim, ulaşım teknolojilerinde yaşanan yenilik ve gelişmeler işletmelerin üretim ve pazarlama faaliyetlerini olumlu veya olumsuz şekilde etkileyebilmektedir”(Öztürk, 2017: 15).

Teknolojinin pazarlama sürecini iki temel noktada etkilediğini görmekteyiz. Bunlar: yeni ürünler için fırsat ve yeni süreçler ortaya koymasındır. Örneğin; bilgi teknolojisindeki gelişmeler sayesinde dünyanın değişik yerlerinde insanların uydu aracılığı ile video konferans yapmalarını ve internet aracılığı ile karmaşık tasarım çizimlerinin gönderilmesine imkan sağlanmaktadır. Web siteleri ise aralarında az veya çok mesafe olan işletmeler arasında karmaşık e-ticaret yapılmasına sağlamaktadır(Perreault, Cannon ve McCarthy,2013:66). Bu gelişmeler pazarlamada yeni ufuklar açarken bu değişim ve gelişimlere ayak uydurmayan işletmelere de zarar vermiştir.

“Teknolojik faktörler, işletmeyi doğrudan ve dolaylı olarak etkileyen her türlü teknolojik yeniliklerdir (Tekin,2014: 39). Teknolojide değişim, işletmelere önemli fırsatlar sunarken, bazı işletmeleri, varlığını sürdürmemeye tehdidi ile karşı karşıya bırakmaktadır. Bilgi iletişim teknolojisinde ortaya çıkan gelişmeler, telepazarlama, internette pazarlama gibi pazarlamaya yeni ufuklar açmıştır”(Yükselen, 2006: 75).

Günümüzde teknoloji insan hayatında birçok etki yapmakta ve onu sosyal, psikolojik, ekonomik ve kültürel anlamda etkilemektedir. Dijital teknoloji de tüketicilerin ürünler ve pazarlarla olan ilişkilerini değiştirmektedir. Yeniden programlanan sadece bilgisayarlarımız değil; müşterilerin de kendisidir. İnternet pazarlamacılığının ve sosyal medyanın tüketicilerin davranış biçiminde ve şirketlerin iş yapmasında önemli bir etkiye sahip olması ve şirketlerin yeni gerçekliğe adapte olma zorunluluğunu getirmiştir. Bu açıdan



pazarlamacıların, bu dijital çağda yeni zorluklar ve fırsatlarla karşı karşıya olduğu söylenebilir. Siber tüketici, değişen ihtiyaçlarını karşılamak için yeni pazarlama yaklaşımlarına olan ihtiyacı açıkça göstermektedir (Wind ve Mahajan, 2002, s.44; Yasmin vd., 2015, s.69; Todor, 2016, s.51).

Küreselleşme neticesinde hedef pazarların genişlemesi ile birlikte günümüzde ise mamul ve hizmetlerin artık internet kullanımı sayesinde sosyal medyadan satılabildiğine şahitlik etmekteyiz. Yukarıda da değinildiği gibi bu durumun işletmeler için hem avantaj hem de dezavantaj oluşturduğu söylenebilir. Diğer taraftan web siteleri ve bloglar tarafından işletme, ürünleri ve hizmetleri için yapılan yorumlar ve tepkiler karşısında işletmeler kendilerine yeni bir yol haritası seçmek durumunda kalmaktadır. Tüketicilerin işletmelerin, ürettiği mallar ve hizmetlerle ilgili yaptığı yorumlar hakkında bilgi sahibi olmak işletmelere büyük faydalar sağlamaktadır. Ayrıca tüketicilerin sosyal medyada işletme ve ürünleri ile ilgili yaptığı yorumlar diğer tüketicileri de olumlu veya olumsuz etkileyebilmektedir. (Hacıhasanoğlu, 2017:1).

Siber tüketiciler, satın aldıkları ürün ve hizmetlerden, aradıkları bilgilere, ödemek istedikleri fiyata kadar her şeyi özelleştirmeyi beklemektedir. Tüketiciler artık ürünleri istenen herhangi bir nitelik, fiyat, besin değeri, işlevsellik veya fiyat değeri gibi özelliklerin birleşimine göre sıralayabilmekte ve diğer kullanıcıların deneyimini kullanmak da dahil olmak üzere üçüncü taraf onaylarını ve değerlendirmelerini kolayca ulaşabilmektedirler. Artık dijital teknolojiyle güçlendirilmiş müşterileri kandırmak hiç te kolay değildir. Artık müşteriler marka seçerken eşdüzey kişilerin tavsiyeleri doğrultusunda sosyal çevrelerini bir kale gibi kullanarak markaların yanlış iddia ve kampanyalarından kendilerini korumaktadırlar (Wind ve Mahajan, 2002, s.44; Kotler vd., 2017, s.29). Ayrıca, bilimsel literatür, açıkça tanımlanamamış olmakla birlikte sektörde dijital pazarlama becerilerinde önemli boşluklar olduğunu öne sürmektedir (Royle ve Laing, 2014, s.65).

Dijital devrim, tüketicilere daha fazla fiyat şeffaflığı ve çoğu zaman fiyatı dikte etme şansı sunması nedeniyle pazarlamanın özüne sarsmıştır. Fiyatlandırma, müşterilerin kendi fiyatlarını (priceline.com'da olduğu gibi) önerdikleri bir dünyada veya alıcılar ve satıcıların açık artırmalarda bağımsız olarak pazarlık ettiği (e-Bay'de olduğu gibi) platformlarda, pazarlama artık yeni bir anlayışı ortaya koymaktadır. Dijital pazarlama, 'siber tüketicilerin', siber iş dünyası dünyasının ve giderek daha karmaşık, dinamik ve küresel hale gelen pazarların değişen gerçekliğini ortaya koymaktadır (Wind ve Mahajan, 2002, s.43). Ayrıca, çevrimiçi hizmetler ve World Wide Web (www) ile etkileşimli medyanın hızlı gelişimi, tüketici pazarlamacılarının çoğunu şaşırtmıştır. Birçoğu, internet etkileşimli medyanın tüketici pazarlaması üzerindeki muhtemel etkisini "tahmin etmek" için, ne yapmaları gerektiğini ve bunu nasıl yapmaları gerektiğini merak etmektedirler (Parsons vd., 1998, s.31).

Dijital Pazarlama, dijital teknolojilerin pazarlamayı nasıl daha etkili hale getirdiğini vurgulamaktadır, çünkü bireysel dikkat, daha iyi kampanya yönetimi ve daha iyi ürün, pazarlama tasarımı ve yürütme için olanak sağlar (Urban, 2003). Dijital pazarlamanın en popüler yöntemlerinden biri olmasının nedeni, bilginin çok düşük bir maliyetle işlenebileceği internettir. İnternet dijital pazarlama endüstrisinde dalgalar oluşturmaya devam ettiğinden, etkileşimli tüketici pazarı uluslararası yatırımcılar tarafından göze çarpan en umut verici sektörlerden biri olarak gelişti (Kierzkowski vd., 1996).

Pazarlama, alıcı ile satıcı arasında değişim ilişkisini konu alan ekonomik, sosyal, psikolojik, kültürel ve uygulamalı bir bilim dalıdır (Altunışık vd., 2014, s.27). Dijital pazarlama, başta İnternet üzerinden olmak üzere, aynı zamanda cep telefonları, görüntülü reklamcılık ve diğer dijital ortamlar da dahil olmak üzere, dijital teknolojileri kullanan ürün veya hizmetlerin pazarlanmasıdır (<http://lexicon.ft.com/Term?term=digital-marketing>, E.T. 11.03.2019). Dijital pazarlama, müşterilere ulaşmak ve müşterilere dönüştürmek ve bunları korumak amacıyla dijital teknolojiler kullanarak, hedeflenen, ölçülebilir ve etkileşimli mal veya hizmet pazarlaması için kullanılan bir terimdir. Alternatif isimleri 'çevrimiçi pazarlama', 'internet pazarlama' veya 'web pazarlamadır. Dijital pazarlamanın temel amacı, markaları tanıtmak, tercihi şekillendirmek ve çeşitli dijital pazarlama teknikleriyle satışları artırmaktır (Todor, 2016, s.52).

Çoğu uzman, dijitalleşimin yalnızca pazarlama için farklı bir kanal olmadığını, pazarlamaya yeni bir yaklaşım ve yeni bir müşteri davranışı anlayışı getirdiğine inanmaktadır. Bu durum, şirketlerin mobil cihazlardaki uygulama indirme sayıları, Twitter'daki tweet'lerin, Facebook'taki beğenilerin ve benzerlerinin değerini analiz edilmesini ve ölçülmesini gerektirmektedir (<http://lexicon.ft.com/Term?term=digital-marketing>, E.T. 11.03.2019).

Tüketici davranışlarındaki değişiklikler, firmaların pazarlama stratejilerini etkileyen en önemli konulardandır. Dijital medyanın tüketiciler tarafından artan kullanımıyla, daha fazla şirket, hedef pazarlarına ulaşmak için dijital pazarlamayı kullanmaktadır (Smith, 2011, s.489). Bu anlamda tüketicilerin dijital dünyayla yakın ilişkileri, şirketlerin pazarlamalarında dijital alanı dikkate almalarını gerektirmiştir. Ayrıca ikinci nesil internet tabanlı uygulamalar, firmaların yenilikçi iletişim biçimlerini uygulamalarını ve müşterileriyle birlikte içerik oluşturmalarını sağlayarak pazarlama çabalarını artırmaktadır. Dijital pazarlama etkileşimini geliştirmek için pazarlamacılar, müşterileriyle ilişkiye dayalı etkileşimlere odaklanmalıdırlar (Tiago ve Verissimo, 2014, s.703).

Tüketicilerin dijital pazarlama ve online alışveriş konusundaki algılarını ölçmek için daha önce yapılmış birkaç araştırma bulunmaktadır. Turan (2011), çevrimiçi alışveriş tüketici davranışını belirleyen faktörler üzerine bir araştırma yaptı. Yılmaz ve Tümtürk (2015), çevrimiçi alışveriş amacını etkileyen faktörleri araştırmak için bir çalışma yaptı. Cesur ve Tayfur (2015), çevrimiçi alışveriş davranışında algılanan tüketici risklerini araştırmak için bir çalışma yaptı. Bu araştırma, tüketicilerin dijital pazarlama ve online alışveriş konusundaki algıları hakkındaki bulguları ve sonuçları ile literatüre katkı sağlayacaktır.

### 3. Materyal ve Metot

#### 3.1. Materyal

Bu çalışma, tanımlayıcı ve kesitsel bir araştırmadır. Araştırma, Konya ilinde yaşayan ve araştırmaya katılmaya gönüllü olan farklı meslek gruplarına mensup toplam 167 kişi üzerinde yapılan anket çalışması ile gerçekleştirilmiştir. Veriler 2019 yılı Mart ayı içerisinde toplanmıştır. Araştırma anket formu, 5'li sosyo-demografik soru olmak üzere; 10'u katılımcıların online alışveriş davranışları üzerine

çoktan seçmeli ve 39'u tüketicilerin online alışveriş ve dijital pazarlama hakkındaki algısını ölçmeye yönelik sorulardan oluşan toplam 54 soruluk bir anket uygulanmıştır. Araştırma anket forumu, 2018 yılında Genç ve Salman tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasından alınmıştır. Araştırmanın 39 soruluk ölçeği 8 faktörden oluşmakta olup, bu faktörler aşağıda verilmiştir.

1. Faktör: Kullanım kolaylığı ve tutum,
2. Faktör: Algılanan risk,
3. Faktör: Mağaza tanıma,
4. Faktör: Sistem kalitesi ve güven,
5. Faktör: Hizmet kalitesi,
6. Faktör: Algılanan fayda,
7. Faktör: Öznel norm,
8. Faktör: Bilgi kalitesi ve işlevselliği

Online alışveriş tüketici algısı ölçeğinin geçerlilik güvenirlik katsayısı (cronbach alfa değeri) 0,922 olmak üzere yüksek güvenirlikte olduğu saptanmıştır. Araştırma verileri SPSS paket programında değerlendirilmiştir. Veriler, t testi, Anova testi ve Ki-kare testleri ile yorumlanmıştır.

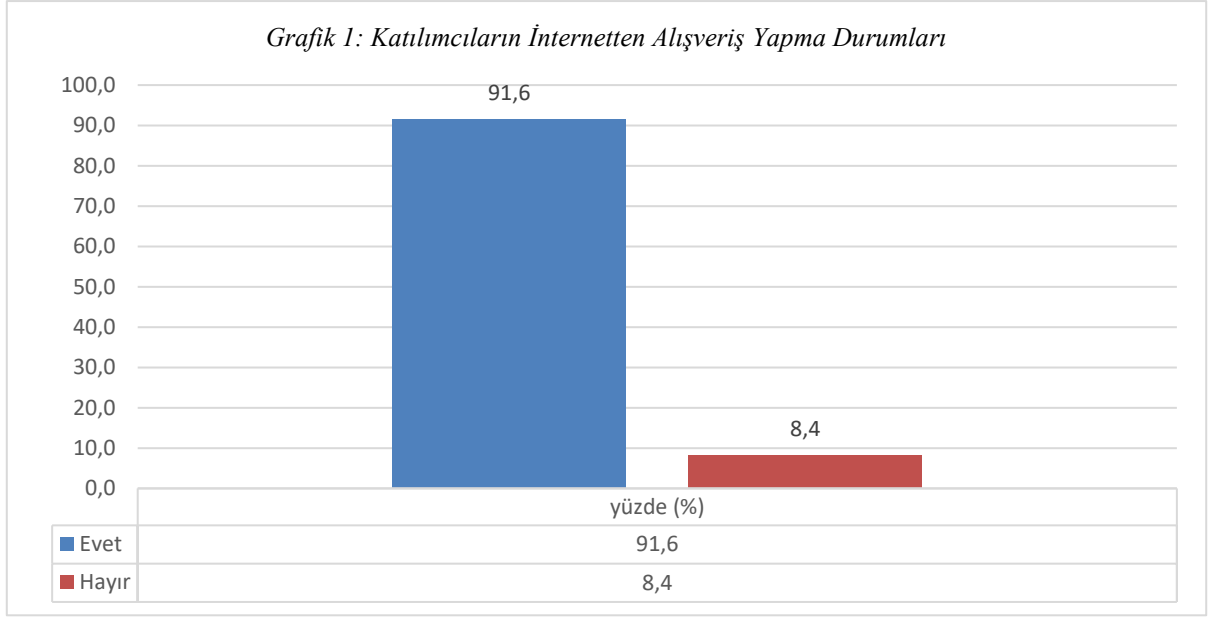
### 3.2. Bulgular ve Tartışma

Araştırma anketlerinden elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

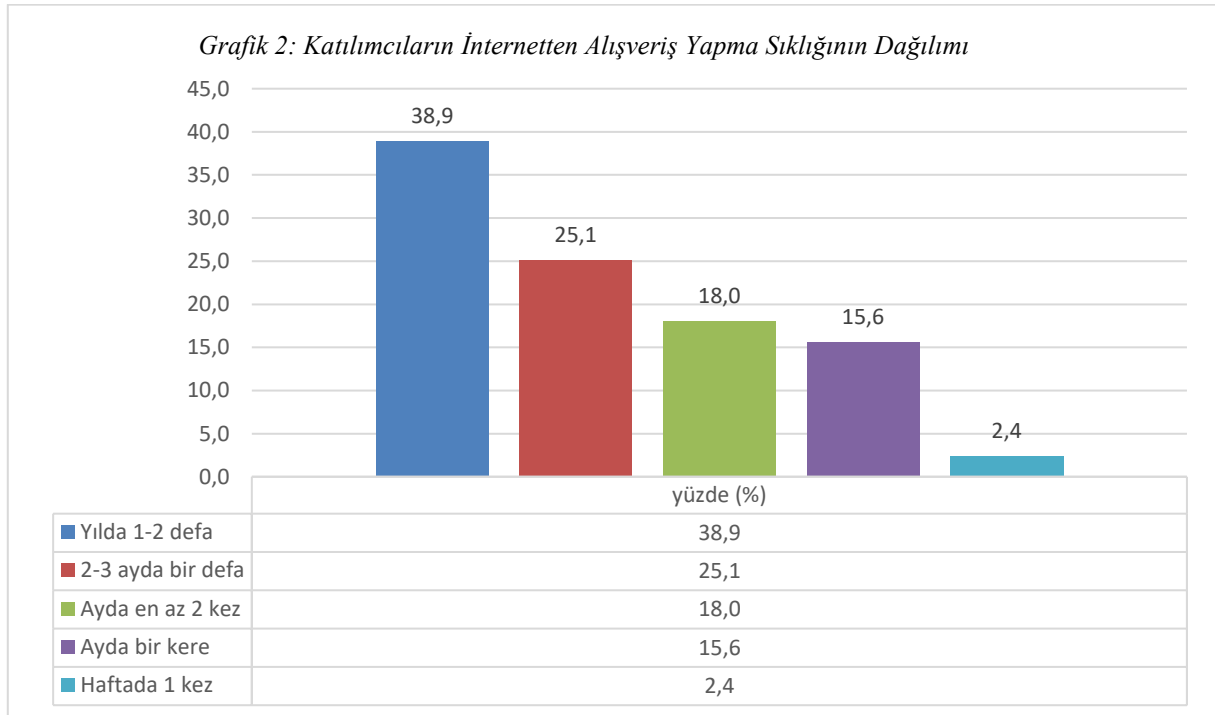
**Tablo 1: Katılımcıların Sosyo-Demografik Özelliklere Göre Dağılımı**

		Sayı (n)	Yüzde (%)
<b>Cinsiyet</b>	<i>Kadın</i>	95	56,9
	<i>Erkek</i>	72	43,1
<b>Medeni durum</b>	<i>Evli</i>	110	65,9
	<i>Bekar</i>	57	34,1
<b>Meslek</b>	<i>Memur</i>	44	26,3
	<i>İşçi</i>	36	21,6
	<i>Öğretmen/Akademisyen</i>	42	25,1
	<i>Sağlık Çalışanı</i>	29	17,4
	<i>Ev Hanımı</i>	16	9,6
<b>Yaş durumu</b>	<i>18-30 arası</i>	55	32,9
	<i>31-40 arası</i>	73	43,7
	<i>41 yaş ve üzeri</i>	39	23,4
<b>Aylık Gelir Durumu</b>	<i>500-1.500 TL</i>	17	10,2
	<i>1.501-2.500 TL</i>	27	16,2
	<i>2.501- 3500 TL</i>	23	13,8
	<i>3.501- 4.500 TL</i>	39	23,4
	<i>4.501 ve üzeri TL</i>	61	36,5
<b>Toplam</b>		<b>167</b>	<b>100,0</b>

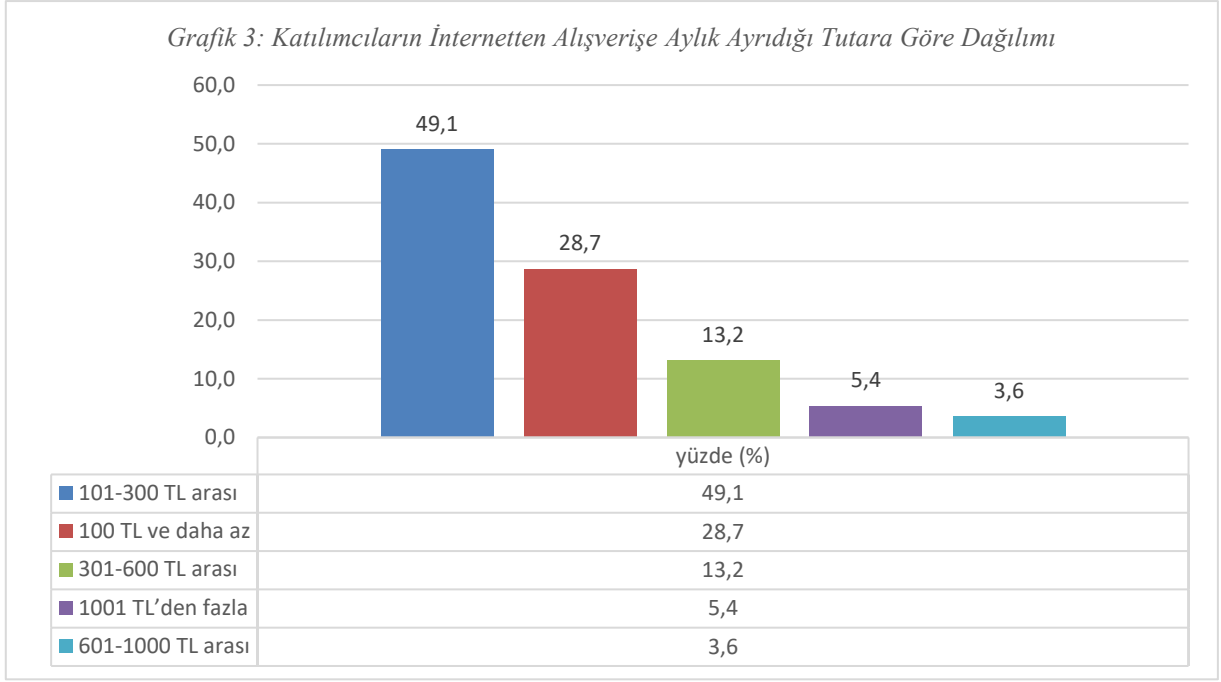
Araştırmaya katılanların sosyo-demografik olarak incelendiğinde; katılımcıların %56,9'unun kadın; %65,9'unun evli, %26,3'ünün memur; %43,7'sinin 31-40 yaş aralığında, %36,5'inin 4.501 TL ve üzeri gelir sahibi oldukları saptanmıştır.



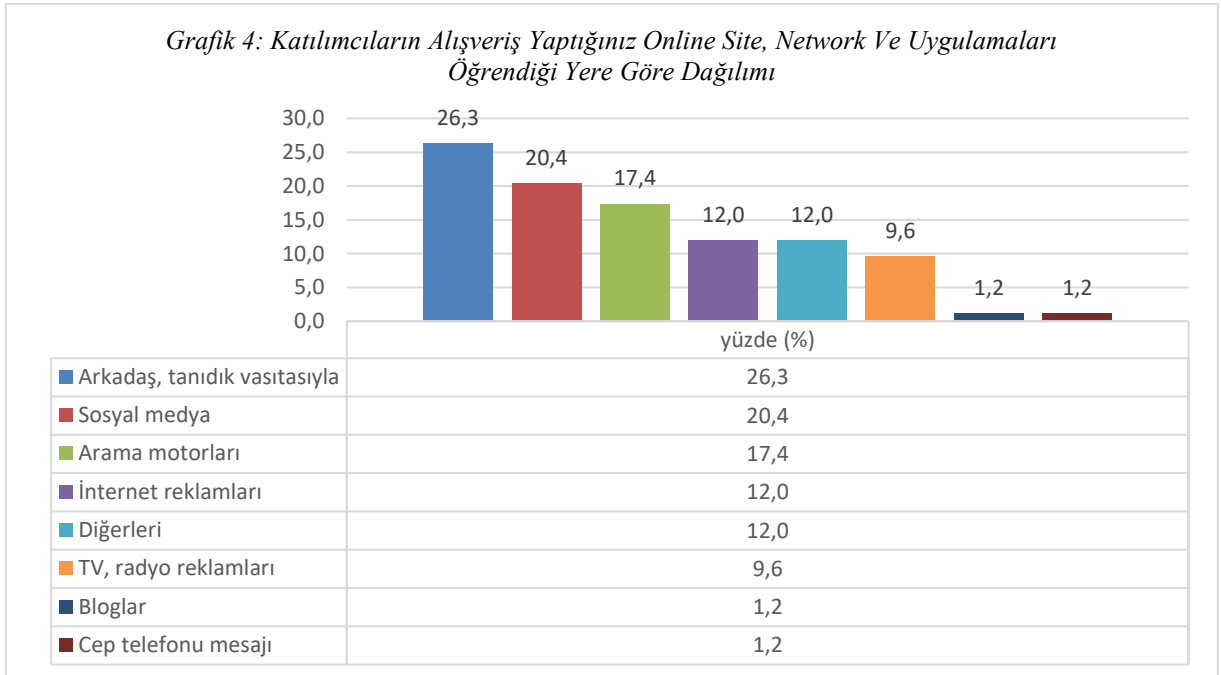
Katılımcıların %91,6'sının internette alışveriş yaptığı saptanmıştır.



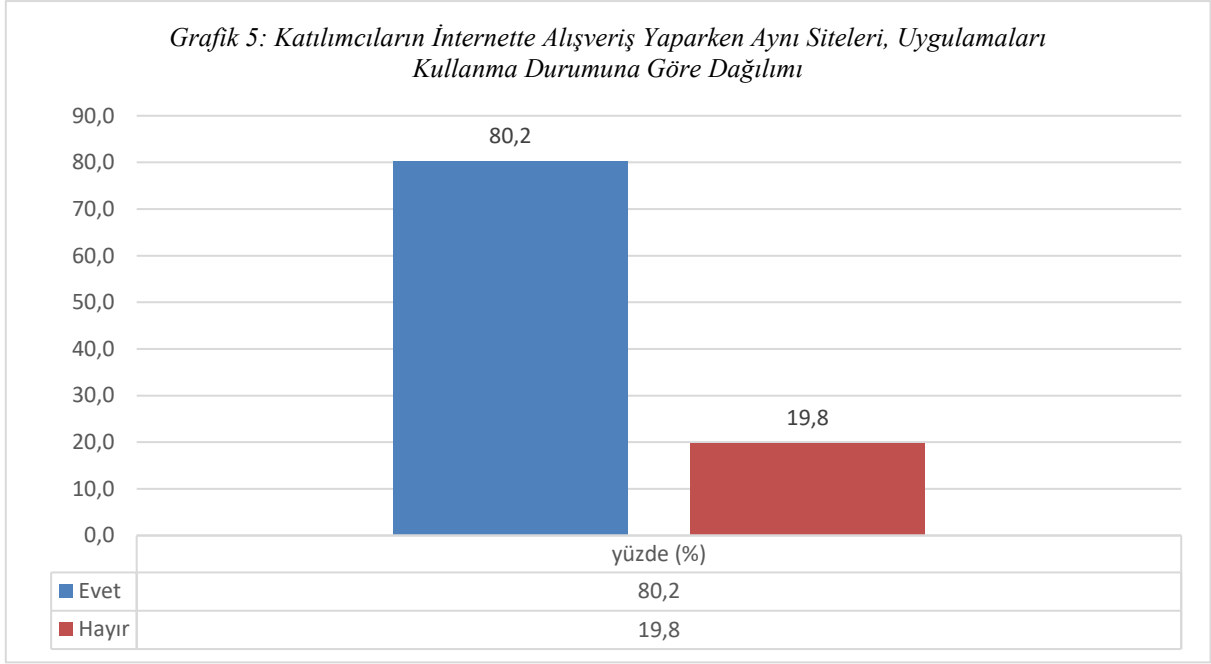
Katılımcıların internette alışveriş sıklığı en çok %38,9 ile yılda 1-2 kez olduğu saptanmıştır. Haftada 1 kez alışveriş yaparım diyenlerin oranı ise %2,4'dür.



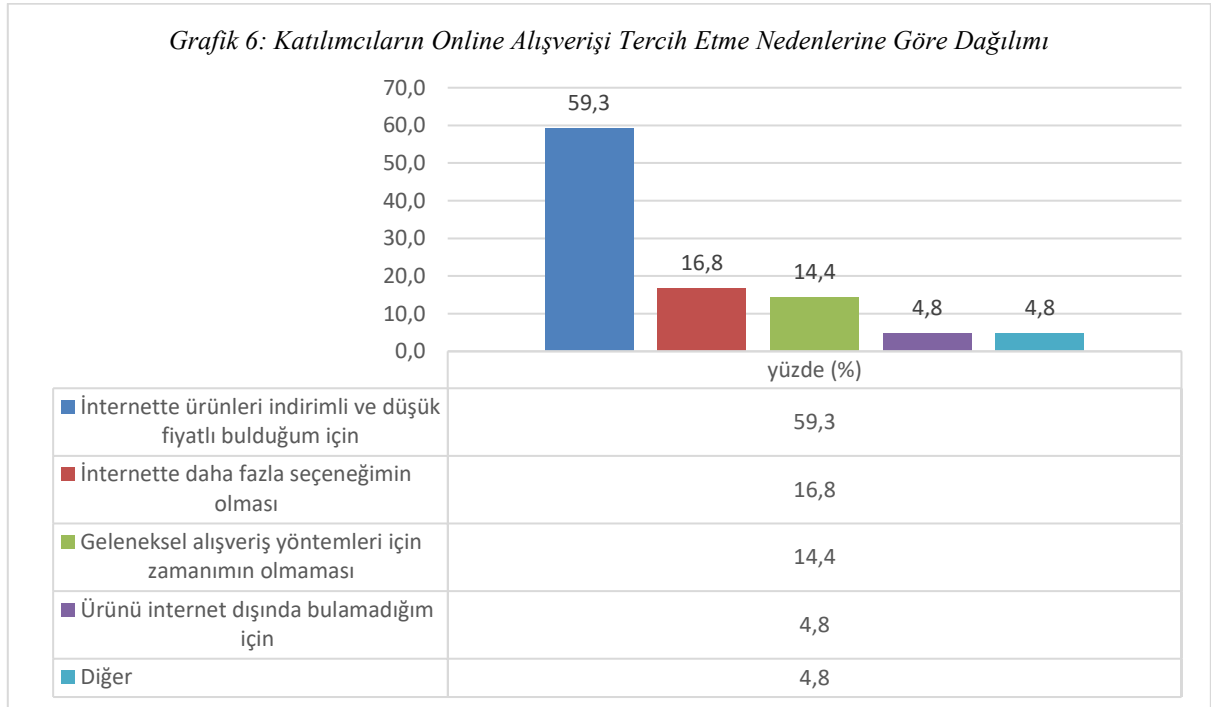
Katılımcıların internette alışverişe ayırdığı aylık tutarın %49,1 oranla ilk sırada 101-300 TL arası olduğu görülmektedir.



Katılımcıların internette alışveriş için site, network ve uygulama gibi erişimleri nereden öğrendiniz sorusunda ilk sırada %26,3 ile arkadaş ve tanıdıklar (devamında sosyal medya ve arama motorları) olarak ifade edildiği görülmüştür.

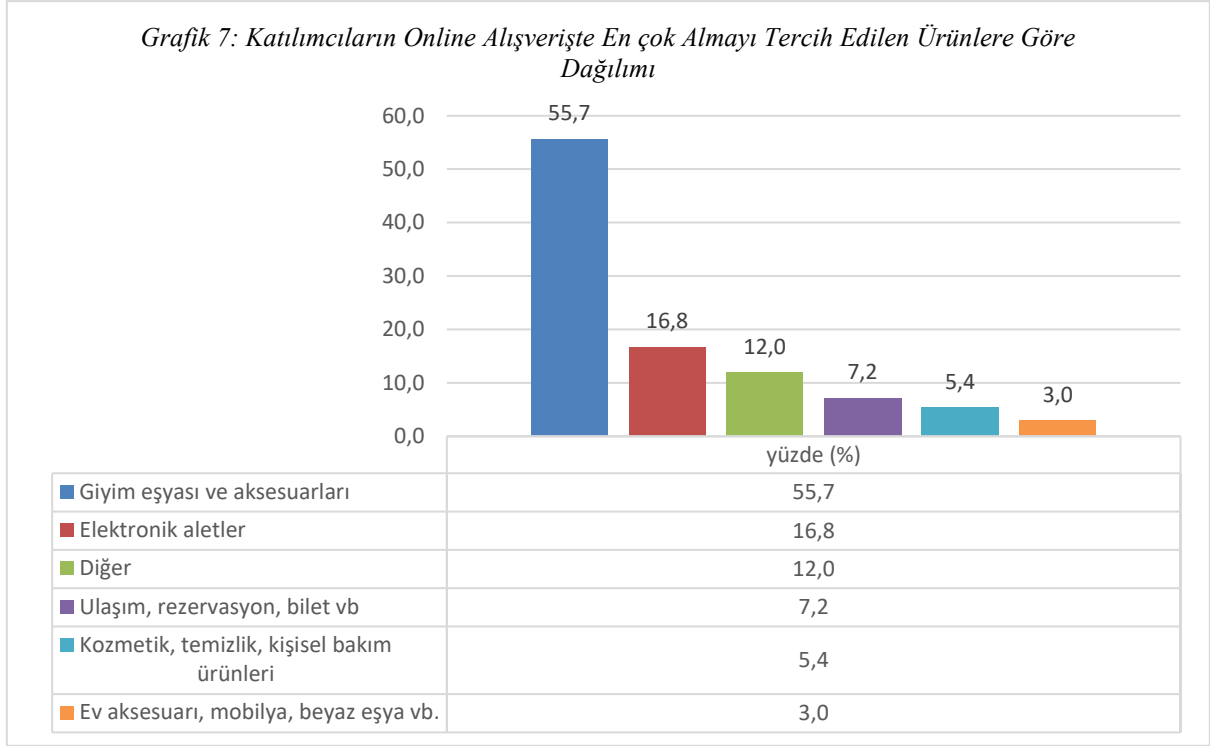


Katılımcıların %80,2'sinin internette alışveriş için hep aynı siteleri ve uygulamaları kullandıklarını görülmektedir.

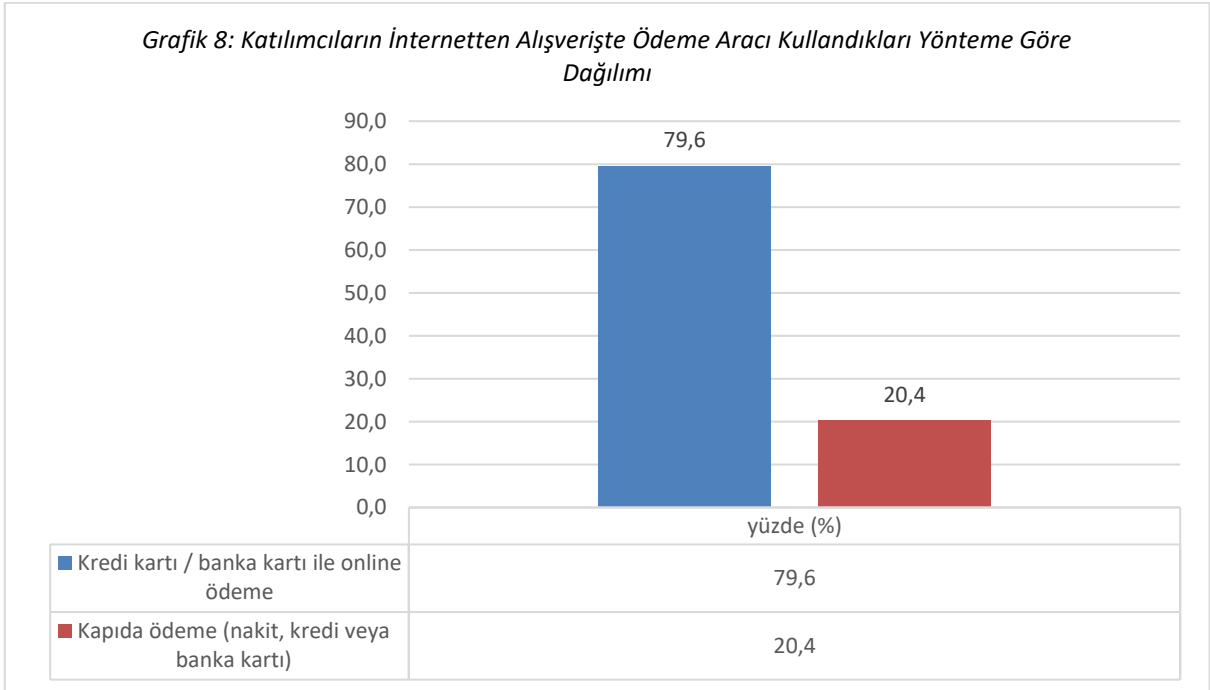


Katılımcıların internette alışverişe ilk tercih nedenleri %59,3 oranla internette satışa sunulan ürünlerin indirimli ve düşük fiyatlı buldukları için olduğu saptanmıştır.



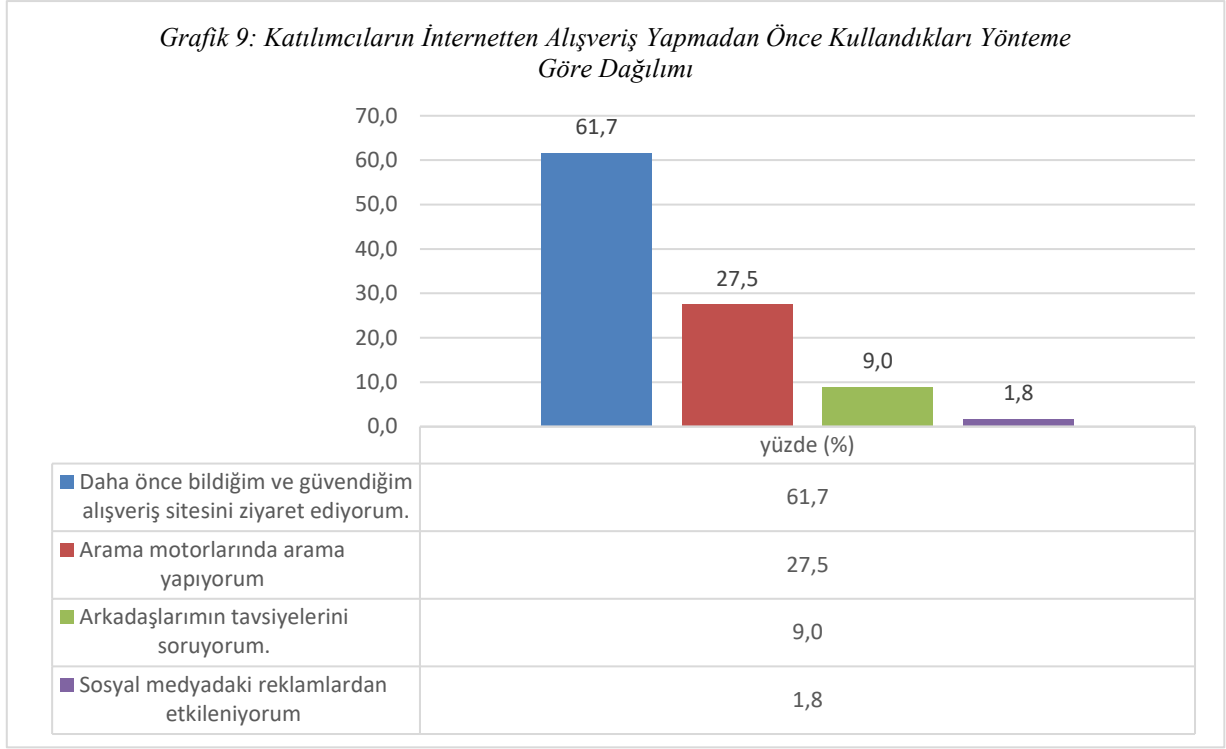


Katılımcıların internetten alışverişe %55,7'lik oranla ilk sırada giyim eşyası ve aksesuar olduğu saptanmıştır.



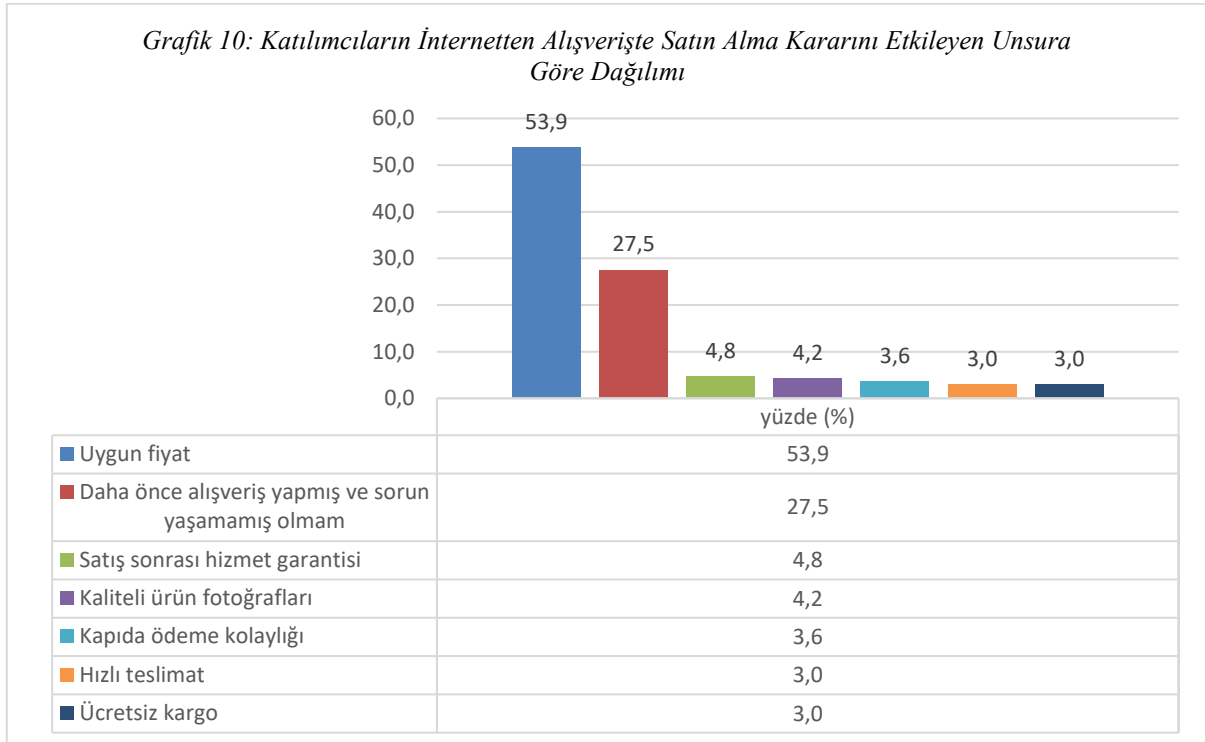
Katılımcıların internetten alışveriş ödemelerini %79,6'lık bir oranla daha çok kredi kartı/ banka kartı ile online olarak yaptıkları saptanmıştır.

Grafik 9: Katılımcıların İnternette Alışveriş Yapmadan Önce Kullandıkları Yönteme Göre Dağılımı



Katılımcıların %61,7'sinin internette alışveriş yapmadan önce daha önce bildiği ve güvendiği alışveriş sitelerini ziyaret ettiği saptanmıştır.

Grafik 10: Katılımcıların İnternette Alışverişte Satın Alma Kararını Etkileyen Unsura Göre Dağılımı



Katılımcıların internette alışverişte satın alma kararını en çok %53,9'luk bir oranla fiyatın uygunluğun etkili olduğu görülmektedir.

Tablo 2: Katılımcıların Online Alışveriş Faktörleri Açısından Ortalamaların Dağılımı

Online Alışveriş Boyutları	N	Min.	Max.	Ort.	Std. sapma
Hizmet kalitesi	167	1,00	5,00	4,0100	,68881
Sistem kalitesi ve güven	167	1,00	5,00	3,9476	,62264
Mağaza tanıma	167	1,80	5,00	3,8455	,54471
Bilgi kalitesi ve işlevselliği	167	1,00	5,00	3,8024	,71549
Algılanan fayda	167	1,00	5,00	3,7814	,71672
Algılanan risk	167	1,00	5,00	3,5539	,84584
Kullanım kolaylığı ve tutum	167	1,25	5,00	3,4873	,62525
Öznel form	167	1,00	5,00	3,2874	,95597

Katılımcıların verdikleri cevaplar incelendiğinde; katılımcıların online alışveriş faktörleri arasında en çok hizmet kalitesi, sistem kalitesi ve güven boyutlarına en az öznel form ile kullanım kolaylığı ve tutum boyutlarına katıldıkları saptanmıştır.

#### Sosyo-demografik değişkenlere göre katılımcıların online alışveriş faktörleri açısından değerlendirildiğinde;

- Katılımcıların mesleklerine göre online alışveriş faktörleri açısından ortalamaların dağılımı incelendiğinde; akademisyen ve öğretmenlerin ev hanımlarına göre, online alışverişte kullanım kolaylığı ve tutum, mağaza tanıma, sistem kalitesi ve güven, algılanan fayda ile bilgi kalitesi ve işlevselliği faktörleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha çok katıldıkları saptanmıştır. Ayrıca akademisyen ve öğretmenlerin işçilere göre online alışverişte algılanan fayda boyutuna istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha çok katıldıkları saptanmıştır.
- Katılımcıların yaş durumlarına göre online alışveriş faktörleri açısından ortalamaların dağılımı incelendiğinde; 31-40 yaş aralığında olanların 41 yaş ve üzerinde olanlara göre online alışverişin mağaza tanıma boyutunda istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha çok katıldıkları saptanmıştır.
- Katılımcıların aylık gelir durumlarına göre online alışveriş faktörleri açısından ortalamaların dağılımı incelendiğinde; aylık geliri 4.501 TL ve üzeri TL olanların 500-1.500 TL arası olanlara göre online alışverişin mağaza tanıma boyutunda istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha çok katıldıkları saptanmıştır.
- Bununla birlikte, katılımcıların cinsiyet değişkenine göre ve medeni durum değişkenine göre online alışveriş faktörleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmamıştır.

#### Katılımcıların online alışveriş davranışlarının cinsiyet durumuna göre karşılaştırıldığında;

- Katılımcıların “Online alışveriş tercih etmenizdeki temel sebep nedir?” sorusuna verdikleri cevaplar incelendiğinde; kadın katılımcıların erkek katılımcılara göre daha çok “Geleneksel alışveriş yöntemleri için zamanının olmaması” ve “Ürünü internet dışında bulamadığım için” seçeneklerine katıldıkları; erkek katılımcıların kadın katılımcılara “İnternette ürünleri indirimli ve düşük fiyatlı bulduğum için” seçeneklerine katıldıkları saptanmıştır.
- Katılımcıların “İnternette en çok hangi ürünleri alıyorsunuz?” sorusuna verdikleri cevaplar incelendiğinde; kadın katılımcıların erkek katılımcılara göre daha çok “Giyim eşyası ve aksesuarları” ve “Kozmetik, temizlik, kişisel bakım ürünleri” seçeneklerine katıldıkları; erkek katılımcıların kadın katılımcılara “Ev aksesuarı, mobilya, beyaz eşya vb.”, “Elektronik aletleri” ve “Ulaşım, rezervasyon, bilet vb” seçeneklerine katıldıkları saptanmıştır.
- Katılımcıların “İnternette alışverişte ödeme aracı olarak hangisini daha çok tercih ediyorsunuz?” sorusuna verdikleri cevaplar incelendiğinde; kadın katılımcıların erkek katılımcılara göre daha çok “Kapıda ödeme (nakit, kredi veya banka kartı)” seçeneğine katıldıkları saptanmıştır.

## 4. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

21. yüzyıl çağı olarak da adlandırılan dijital çağın insan hayatı ve işletmeler üzerindeki etkisi her geçen gün daha da artmaktadır. Bu süreçte pazarlama olgusu, hem mekânsal hem de süreç hem de yöntem olarak birçok değişimi ve gelişimi yaşamaktadır. Bu çağın getirdiği bu anlayış, dijital pazarlama kavramını ortaya çıkarmıştır. Dijital pazarlama, artık şirketlerin ve markaların önem verdiği ve giderek artan bir şekilde yaygınlaşan bir pazarlama türü haline gelmektedir. Bunun altında yatan nedenlerden en önemlilerinden birisi, insanların dijital ürün ve teknoloji kullanımlarının yaygınlaşması ve dijital yaşamın onların zamanlarının önemli bir kısmında yer alması olarak gösterilebilir.

Dijital pazarlama, müşterilere ulaşmak ve müşterilere dönüştürmek ve bunları korumak amacıyla dijital teknolojiler kullanarak, hedeflenen, ölçülebilir ve etkileşimli mal veya hizmet pazarlaması için kullanılan bir terimdir. Dijital pazarlama; dijital kanalları kullanan verimli bir pazarlama yöntemidir. Bu kanallar; internet, sosyal medya ve mobil platformlardır. Burada pazarlamanın temel prensipleri geçerliliğini korumakta ve uygulanmakta olmakla birlikte pazarlamada yeni anlayışlar ve yeni müşteri deneyimleri de ortaya çıkmaktadır. Günümüzde dijital pazarlama müşterilerine benzersiz yaklaşımlar sunmakta ve yeni deneyimler yaşatmaktadır.

Dijital pazarlamanın en önemli unsuru olan müşteriler, geleneksel pazarlamayı tercih etmekle birlikte günümüzde dijital pazarlamaya ilgileri oldukça artmıştır. Müşteriler; gerek zaman, gerek uygun fiyat gerekse aradıkları ürünlere ulaşma konusundaki kolaylıkları nedenleriyle dijital ortamda alış veriş tercih edebilmektedir.

Bu çalışmada tüketicilerin dijital pazarlama ve internette alışveriş üzerine algıları ve tüketici davranışları ölçülmeye çalışılmıştır. Katılımcıların dijital pazarlama ve internette alışveriş yapma konularındaki algıları; cinsiyet, medeni durum, meslek, yaş ve aylık gelir durumu değişkenlerine göre istatistiksel açıdan anlamı değerlendirilmiştir.

Araştırmadan sonuçlarına göre, katılımcıların %91,6'sının internette alışveriş yaptığı; internette alışveriş sıklığı en çok %38,9 ile yılda 1-2 kez olduğu; internette alışverişe ilk tercih nedenleri %59,3 oranla internette satışa sunulan ürünlerin indirimli ve düşük fiyatlı oldukları için olduğu; internette alışverişe %55,7'lik oranla ilk sırada giyim eşyası ve aksesuar olduğu saptanmıştır. Katılımcıların online alışveriş faktörleri arasında en çok hizmet kalitesi, sistem kalitesi ve güven boyutlarına en az öznel form ile kullanım kolaylığı ve tutum boyutlarına katıldıkları saptanmıştır.

## **Kaynakça**

- Alan, A. K., Kabadayı E. T. & Erişke, T. (2018). İletişimin Yeni Yüzü: Dijital Pazarlama Ve Sosyal Medya Pazarlamasi, *Electronic Journal of Social Sciences*, 17(66).
- Altunışık, R., Özdemir, Ş., ve Torlak, Ö. (2014). Pazarlama ilkeleri ve yönetimi. Beta yayınevi. İstanbul,
- Hacıhasanoğlu, B.(2017). Sosyal Medyada Pazarlama Stratejilerinin Oluşturulması Ve Telekomünikasyon Sektörüne İlişkin Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul ticaret Üniversitesi, İstanbul,
- Kierzkowski, A., McQuade, S., Waitman, R., & Zeisser, M. (1996). Current research: marketing to the digital consumer. *The mckinsey quarterly*, (2), 180-183.
- Kotler, P., Kartajaya, H., & Setiawan, I. (2017). Marketing 4.0: do tradisional ao digital. Sextante.
- Parsons, A., Zeisser, M., & Waitman, R. (1998). Organizing today for the digital marketing of tomorrow. *Journal of Interactive Marketing*, 12(1), 31-46.
- Perreault, W., Cannon, J.,McCarthy, J. (2013). Pazarlamanın Temelleri, Nobel Yayınları, 13.Baskı, Ankara
- Ryan, D. (2016). Understanding digital marketing: marketing strategies for engaging the digital generation. Kogan Page Publishers.
- Royle, J., & Laing, A. (2014). The digital marketing skills gap: Developing a Digital Marketer Model for the communication industries. *International Journal of Information Management*, 34(2), 65-73.
- Smith, K. T. (2011). Digital marketing strategies that Millennials find appealing, motivating, or just annoying. *Journal of Strategic Marketing*, 19(6), 489-499.
- Tekin, V.N.(2014). Pazarlama İlkeleri: Politikalar Stratejiler Taktikler. 3 baskı , Ankara: Seçkin Yayıncılık,
- Tiago, M. T. P. M. B. & Verissimo, J. M. C. (2014). Digital marketing and social media: Why bother?. *Business horizons*, 57(6), 703-708.
- Todor, R. D. (2016). Blending traditional and digital marketing. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Economic Sciences. Series V*, 9(1), 51.
- Urban, G. (2003). Digital marketing strategy: text and cases. Prentice-Hall, Inc..
- Öztürk, A. (2017). Pazarlama İlkeleri, Gazi Kitabevi Yayınları, 3. Baskı, Ankara,
- Wind, J., & Mahajan, V. (2002). Digital marketing. *Symphonya. Emerging Issues in Management*, (1), 43-54.
- Yasmin, A., Tasneem, S., & Fatema, K. (2015). Effectiveness of digital marketing in the challenging age: An empirical study. *International Journal of Management Science and Business Administration*, 1(5), 69-80.
- Yükselen, C. (2006). Pazarlama, İlkeler-Yönetim, Detay Yayıncılık, Ankara, 5.Baskı,
- <http://lexicon.ft.com/Term?term=digital-marketing>, E.T. 11.03.2019.



# İnce Cidarlı Kompozit Kiriş Olarak Modellenmiş Uçak Kanatlarının Eğilme-Eğilme Bağlaşım Titreşiminin Aktif Kontrolü

Kaan Yıldız<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2670-8619)

(İlk Geliş Tarihi 1 Aralık 2019 ve Kabul Tarihi 31 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.659331)

**ATIF/REFERENCE:** Yıldız, K. (2019). İnce Cidarlı Kompozit Kiriş Olarak Modellenmiş Uçak Kanatlarının Eğilme-Eğilme Bağlaşım Titreşiminin Aktif Kontrolü. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1274-1284.

## Öz

Aktif titreşim kontrol metotlarının geliştirilmesi ve uygulanması günümüzde hava uzay yapılarının performans gerekliliklerini sağlamak ve verimliliklerini iyileştirmek açısından oldukça önemli bir konu haline gelmiştir. Bu ilginin en büyük sebebi bu tarz malzemelerin havacılık ve uzay, otomotiv, helikopter ve turbo makinelerin palleri ve robot kolları gibi çeşitli farklı yapılara kolayca uyarlanabilmesi ve kullanılabilir durumda olmasından kaynaklanmaktadır. Akıllı veya uyarlanabilir malzemelerin kullanımı ile, yapıların dinamik karakteristiklerinin öngörülebilir bir şekilde kontrol edilmesi mümkündür. Buna ek olarak, yapısal rezonans ya da çarpınma gibi dinamik kararsızlıkların da önüne geçilebilir. Yapılmış olan bu çalışmada, elmas kesitli uyarlanabilir bir uçak kanadının piezoelektrik malzemeler yardımıyla aktif titreşim kontrolü incelenmiştir. Uçak kanadı ince cidarlı bir kompozit kiriş olarak modellenmiş ve piezoyleyiciler ve algılayıcılar yapının içine çift olarak çalışmaları için gömülmüştür. Gömülmüş olan bu piezoelektrik malzemeler, tüm kiriş boyunca uzanmaktadır ve bu sayede sınır moment kontrol yöntemini geçerli kılmışlardır. Kapalı devre aktif titreşim kontrolü kayma etkilerinin de dahil olduğu enine ve yanal eğilme bağlaşımını gösteren uçak kanadına uygulanmıştır. Oransal geri besleme ve hız geri besleme kontrol yasaları olmak üzere iki farklı kontrol yasası kullanılmıştır. Serbest titreşim problemi Extended Galerkin Yöntemi ile çözülmüş, çeşitli geometrik ve malzeme ile alakalı kalınlık oranı, açıklık oranı ve elyaf açıları gibi parametrelerin doğal frekanslar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında, parametrelerin değişimi ile birlikte kompozit uçak kanatlarının tasarımı için bilgiler elde edilmiştir. Hız geri besleme yasası, oransal geri besleme yasasına göre doğal frekanslar üzerinde daha fazla kontrol sağlaması nedeniyle daha elverişli bulunmuştur. Ayrıca hız geri besleme yasası sisteme suni yapısal sönümleme kattığından dolayı hava uzay yapılarında dinamik ya da aeroelastik kararsızlıklar doğurabilecek tehlikeleri engelleme potansiyeline sahiptir.

**Anahtar Kelimeler:** ince-cidarlı kompozit kirişler, uyarlanabilir kanatlar, aktif kontrol metotları, oransal geri besleme kontrol yasası, hız geri besleme kontrol yasası.

## Active Control of Bending-Bending Coupled Vibration of Aircraft Wings Modeled as Thin-Walled Composite Beams

### Abstract

The development and implementation of active vibration control methods have attracted considerable attention in the recent years due to enhanced efficiency and performance requirements in aerospace structures. Using adaptive materials, the dynamic characteristics of structures could be controlled in a predictable manner to prevent dynamic instabilities such as structural resonance. This study presents the active vibration control of a diamond-shaped adaptive aircraft wing by using piezoelectric actuation. The aircraft wing is modeled as a thin-walled composite beam in which the piezoactuator/sensors are embedded into the structure to serve as couples. The piezoactuators/sensor are spread over the entire span to benefit from the bending moment control. The closed loop active vibration

\* Sorumlu Yazar: İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0002-2670-8619, [yildizkaa@gmail.com](mailto:yildizkaa@gmail.com)



control is performed for the aircraft wing featuring the coupled motion of transverse and lateral bending including shear effects. Two different control laws, namely proportional feedback control law and velocity feedback control law are employed. The free vibration problem is solved by the Extended Galerkin Method (EGM) and the effects of several geometrical and material aspects such as thickness and aspect ratios, and ply angle on the natural frequencies are investigated. The obtained results with the variations of such parameters provide guidelines for the design of thin-walled composite aircraft wings. Through comparison the velocity feedback control law is found to be superior to the proportional feedback control law as it provides better controllability of natural frequencies. Furthermore, the velocity feedback law also introduces artificial structural damping, hence providing a capability of suppressing the oscillations which may cause dynamic/aeroelastic instabilities in aerospace structures.

**Keywords:** thin-walled composite beams, adaptive wings, active control methods, proportional feedback control law, velocity feedback law.

## 1. Giriş

Aktif geri besleme kontrol metodlarının geliştirilmesi ve uygulanması, son yıllarda gelişmiş havacılık yapılarına yönelik artan verimlilik ve performans ihtiyaçları nedeniyle büyük dikkat çekmiştir. Bu gelişme, temel olarak yapıda ciddi arızaya neden olabilecek dinamik kararsızlıkları önlerken iyileşen titreşim davranışından ve harici yüklere karşı verilen geliştirilmiş dinamik yanıtın kaynaklanmaktadır. Dinamik davranışı kontrol etmenin olası bir yolu uyarlanabilir gömülü malzemelerin kullanılmasıdır. Bu “uyarlanabilir” yapılar, harici yüklere karşılık verilen dinamik yanıtı iyileştirilirken, yapısal rezonansın, dinamik/aeroelastik kararsızlıkların önlenmesi gibi gereklilikleri yerine getirmek için de kullanılabilir.

Yapıların aktif kontrolü, ilk kez Bailey ve Hubbard (1985) tarafından piezoelektrik eyleyiciler kullanılarak tanıtılmıştır. Bu çalışmayı takiben, eyleyicilerin mekanik modellemesi Crawley ve De Luis (1987) tarafından geliştirilmiş ve gömülü eyleyicilere ve algılayıcılara ilişkin başka birçok teori Wang ve Rogers (1991), Ghosh ve Batra (1995), Mitchell ve Reddy (1995), ve Han ve arkadaşları (1997) tarafından geliştirilmiştir. Aktif kontrol teknikleri arasından, hava-uzay yapıları için sıkça uygulanan bir teknik olan piezoelektrik kabuklar ile sınır moment kontrolü ilk kez Tzou (1993) tarafından sunulmuştur. Özellikle Na (1997), Qin (2001), Song ve arkadaşları (2001) herhangi bir şeklin açık kesit veya kapalı kesit kirişleri için uygun olan ince cidarlı kompozit kiriş teorisinin birleşimi ile, gelişmiş hava aracı yapılarının titreşim kontrolü üzerine uyarlanabilen malzeme teknolojisini sunmuştur. Son dönemde, ince cidarlı kompozit yapıların gelişmiş hava-uzay yapılarının tasarımında kullanılmasının potansiyel avantajı dolayısıyla bu alanda sayısız gayret gösterilmiştir (Librescu vd., 1993; Librescu vd., 1996; Meirovitch, 1997). Sınır moment geri besleme kontrolünün yanısıra, piezoelektrik eyleyiciler/algılayıcılar kiriş üzerinde belirli bir konuma yama olarak yerleştirilerek kullanılmıştır ve bu konumlarından kaynaklanan etkileri ve verimleri incelenmiştir (Na ve Librescu, 1998, 2000a, 2000b). Ek olarak, piezo katmanlar/yamalar ile ideal kontrol gibi daha gelişmiş kontrol sistemleri yapılara uygulanmıştır (Librescu, 1997; Na ve Librescu, 1998, 2000a; Yıldız vd., 2014).

Yukarıda bahsedilen çalışmalar genel olarak, zamana bağlı harici yüklere karşılık verilen dinamik yanıtın özelliklerini kontrol etmek salınımları sönmek ve yapıda meydana gelebilecek dinamik kararsızlıkların ortaya çıkmasını önlemek için uyarlanabilir yapıların kullanımının azımsanmayacak bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, yapının titreşim davranışını etkileyen tüm hususlar, ayrıca kontrol özellikleriyle de ilişkilidir ve bu ilişki dikkatli bir şekilde ele alınmalıdır. Yapılan bu çalışmada, uyarlanabilir bir kompozit uçak kanadının titreşiminin incelenmesi, geometrik özellikler de dikkate alarak ele alınarak hedeflenmiştir. Kanat yapısı elmas şeklinde kesit alana sahip ince cidarlı bir kompozit kiriş olarak modellenmiştir.

Anti-simetrik bir kompozit yerleşim düzeni ele alınmış ve yapının düşey eğilme-yanal eğilme-enine kayma-yanal kayma hareketi incelenmiştir. Aktif titreşim kontrolü, gömülü piezoelektrik eyleyiciler ve algılayıcılar kullanılarak kanadın uç kısmında üretilen sınır momenti ile sağlanmıştır. Uyarlanabilir kompozit kirişin dinamik özellikleri, açıklık oranı, kalınlık oranı ve elyaf açısı gibi geometrik ve malzemeye bağlı parametrelerin değiştirilmesi ile incelenmiştir. Genel sonuçlar doğal frekansların uygulanan geri besleme kazancının varlığında artma eğiliminde olduğunu ve hız geri besleme kontrol yasaasının oransal geri besleme yasaasından daha hassas ve etkili olduğunu göstermiştir. Ayrıca, hız geri besleme kontrolü için maksimum sönmekleme faktörü uygulanan geri besleme kazancında belirli bir değere ulaşmakta ve ardından artan kazanç ile aniden azalmaktadır.

## 2. Aktif Titreşim Kontrolü

İnce cidarlı kompozit kirişlerin aktif titreşim kontrolü iki farklı yöntemle sağlanabilmektedir. Bu yöntemlerden ilki piezoelektrik malzemeleri kiriş üzerine yama olarak yerleştirirken, diğeri piezoelektrik malzemelerin bütün kiriş boyunca yayılmasını sağlayarak sınır moment kontrolü tanımını ortaya koyar. Yapılan olan bu çalışmada, sınır moment kontrolü ele alınmıştır. Piezoelektrik malzemelerin kiriş boyunca yayılması sonucunda indüklenen sınır moment ifadeleri direkt olarak uygulanan elektrik alanının linear fonksiyonları olarak aşağıdaki şekilde yazılabilirler:

$$M_x^a = \xi_3 C_{M_x} \quad (1)$$

$$M_x^a = \xi_3 C_{M_x} \quad (2)$$

Kiriş boyunca yapılan integrasyon sonucu sınır moment ifadeleri sınır koşullarında belirlemektedir (Tzou, 1993; Song vd., 2001). Yapılan bu çalışmada, kapalı devre kontrol sistemleri düşünüldüğünde, iki farklı kontrol yasası ele alınmıştır: oransal geri besleme kontrol yasası, hız geri besleme kontrol yasası.

Kapalı devre kontrol sistemleri eyleyici ve algılayıcıların bir sisteme aynı anda yerleştirilmesi ile oluşturulmaktadır. Algılama özellikleri sayesinde bir geri besleme alınmakta ve buna göre bir yanıt üretilmektedir. Bu kapsamda açık devre kontrol sistemlerine göre büyük avantaja sahiptirler. Algılayıcılar tarafından elde edilen voltaj değerleri uygun kazanç değerleri ile kuvvetlendirilir ve eyleyicilere geri beslenirler. Böylece daha verimli kontrol mekanizmaları oluşturulmaktadır. Kapalı devre kontrol yasaları için detaylı bilgi, ilgili denklem ve ifadeler çeşitli çalışmalarda bulunabilir (Song vd., 2001; Librescu ve Song, 2005).

Oransal geri besleme kontrol yasasında, eyleyicilere gönderilen elektrik alan direkt olarak algılayıcılardan okunan voltaj ile doğru orantılıdır. Bir giriş örneği düşünüldüğünde, girişin uç pozisyonu algılanmakta ve bu bilgi kontrol kazancı ile kuvvetlendirildikten sonra eyleyicilere yönlendirilmektedir. Böylece elektrik alan ile girişin uç pozisyonu arasında aşağıdaki ilişkiler kurulmaktadır (Librescu vd., 1996; Song vd., 2001):

$$\xi_3^x(t) = \frac{K_p V_s^x(t)}{h_a} \quad (3)$$

$$\xi_3^y(t) = \frac{K_p V_s^y(t)}{h_a} \quad (4)$$

Böylece moment ifadeleri aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$M_x^a = -\frac{K_p C_{M_x^a}}{h_a} [C_x^S \theta_x(L, t)] = -K_p C_{11} \theta_x(L, t) \quad (5)$$

$$M_y^a = -\frac{K_p C_{M_y^a}}{h_a} [C_y^S \theta_y(L, t)] = -K_p C_{22} \theta_y(L, t) \quad (6)$$

Diğer taraftan, hız geri besleme kontrol yasasında ise, piezoelektrik malzemelerce indüklenmiş momentler ile girişin ucunun sahip olduğu hız arasında bir orantı bulunmaktadır. Girişin ucundaki hız bilgisi algılayıcılar tarafından tespit edilmekte ve kontrol kazancı ile kuvvetlendirildikten sonra eyleyicilere gönderilmektedir. Dolayısıyla, girişin uç pozisyonunun zamana göre türevi ile uygulanan elektrik alan arasında bir ilişkiden söz edilmektedir (Librescu vd., 1996; Song vd., 2001):

$$\xi_3^x(t) = \frac{K_v dV_s^x(t)/dt}{h_a} \quad (7)$$

$$\xi_3^y(t) = \frac{K_v dV_s^y(t)/dt}{h_a} \quad (8)$$

Böylece moment ifadeleri aşağıdaki hale gelmektedirler:

$$M_x^a = -\frac{K_v C_{M_x^a}}{h_a} [C_x^S \dot{\theta}_x(L, t)] = -K_v C_{11} \dot{\theta}_x(L, t) \quad (9)$$

$$M_y^a = -\frac{K_v C_{M_y^a}}{h_a} [C_y^S \dot{\theta}_y(L, t)] = -K_v C_{22} \dot{\theta}_y(L, t) \quad (10)$$

Yukarıdaki denklemlerde  $h_a$  piezoelektrik malzemenin kalınlığını ifade etmektedir,  $K_p$  ve  $K_v$  değerleri ise oransal geri besleme kazancı ile hız geri besleme kazancını belirtmektedir. Moment ifadelerinin daha detaylı çıkarımları Librescu ve Song tarafından yayınlanmış olan kitapta (Librescu ve Song, 2005) bulunmaktadır.

### 3. Hareket Denklemleri

Yapılan bu çalışmada anti-simetrik konfigürasyona sahip ince cidarlı kompozit kirişler ele alınmıştır. Anti-simetrik konfigürasyon literatürde aynı zamanda *Çevresel Tekdüze Katılık (Circumferentially Uniform Stiffness)* olarak da bilinmektedir. Bu kompozit yerleştirme konfigürasyonuna sahip olan ince cidarlı kirişler birbirinden bağımsız olan iki tür bağlaşım göstermektedir. Bunlar sırasıyla eksenel uzama-burulma ve düşey eğilme-yanal eğilme-enine kayma-yanal kayma bağlaşımlarıdır. Yapılan bu çalışmada ikinci bağlaşım türü detaylı olarak ele alınmıştır. Bu bağlaşımı tanımlayan hareket denklemleri Librescu ve Song (2005) tarafından aşağıdaki şekilde elde edilmiştir:

$$\delta u_0: a_{34}\theta_x'' + a_{44}(u_0'' + \theta_y') - b_1\ddot{u}_0 = 0 \quad (11)$$

$$\delta v_0: a_{25}\theta_y'' + a_{55}(v_0'' + \theta_x') - b_1\ddot{v}_0 = 0 \quad (12)$$

$$\delta\theta_x: a_{33}\theta_x'' + a_{34}(u_0'' + \theta_y') - a_{55}(v_0'' + \theta_x') - a_{25}\theta_y' - (b_4 + b_{14})\dot{\theta}_x = 0 \quad (13)$$

$$\delta\theta_y: a_{22}\theta_y'' + a_{25}(v_0'' + \theta_x') - a_{44}(u_0'' + \theta_y') - a_{34}\theta_x' - (b_5 + b_{15})\dot{\theta}_y = 0 \quad (14)$$

Sınır koşulları  $z = 0$ 'da ankastre ve  $z = L$ 'de serbest olmak üzere aşağıdaki şekilde verilmiştir:

$$u_0 = 0; v_0 = 0; \theta_x = 0; \theta_y = 0 \quad (15)$$

$$\delta u_0: a_{34}\theta_x' + a_{44}(u_0' + \theta_y) = 0 \quad (16)$$

$$\delta v_0: a_{25}\theta_y' + a_{55}(v_0' + \theta_x) = 0 \quad (17)$$

$$\delta\theta_x: a_{33}\theta_x' + a_{34}(u_0' + \theta_y) = \tilde{M}_x \quad (18)$$

$$\delta\theta_y: a_{22}\theta_y' + a_{25}(v_0' + \theta_x) = \tilde{M}_y \quad (19)$$

Burada  $a_{ij}$  ifadeleri katılık terimlerini belirtmektedir ve ifadeleri Eken ve Kaya (2015) tarafından ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Genişletilmiş Galerkin metodu kullanılarak, uygun polinomların seçilmesi ile hareket denklemleri aşağıdaki gibi ayrıklaştırılabilir:

$$\mathbf{u}_0(\mathbf{z}, t) = \mathbf{N}_u^T(\mathbf{z})\mathbf{q}_u(t) \quad (20)$$

$$\mathbf{v}_0(\mathbf{z}, t) = \mathbf{N}_v^T(\mathbf{z})\mathbf{q}_v(t) \quad (21)$$

$$\boldsymbol{\theta}_x(\mathbf{z}, t) = \mathbf{N}_x^T(\mathbf{z})\mathbf{q}_x(t) \quad (22)$$

$$\boldsymbol{\theta}_y(\mathbf{z}, t) = \mathbf{N}_y^T(\mathbf{z})\mathbf{q}_y(t) \quad (23)$$

Burada *deneme* ya da *şekil fonksiyonları* olarak bilinen  $N_u$ ,  $N_v$ ,  $N_x$  ve  $N_y$  terimleri sadece geometrik sınır koşullarını sağlayacak şekilde seçilirken,  $q_u$ ,  $q_v$ ,  $q_x$  ve  $q_y$  genelleştirilmiş koordinat vektörlerini belirtmektedir. Denklem 47-50'de verilen ifadelerin Denklem 38-41'de yerine koyulup, uygun şekil fonksiyonları ile çarpıldıktan sonra kanat boyunca integrasyonları sonucu serbest titreşim problemi elde edilir.

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{q}}(t) + \mathbf{K}\mathbf{q}(t) = \mathbf{0} \quad (24)$$

Burada  $\mathbf{M}$  ve  $\mathbf{K}$  kütle ve katılık matrislerini ifade etmektedir. Kütle ve katılık matrislerinin hesabı yapılırken, piezoelektrik malzemeler ve gömülü oldukları ana kompozit yapı birlikte hesaba katılmalıdır. Buna göre, uygulanan kontrol yasasına bağlı olarak, uyarlanabilir kanatlar için ayrıklaştırılmış virtüel iş Song ve arkadaşları (2001) tarafından ifade edilmiştir.

$$\delta J = -\delta_p \mathbf{q}^T \mathbf{K}_v \mathbf{K}_c \delta \mathbf{q} - \delta_v \dot{\mathbf{q}}^T \mathbf{K}_p \mathbf{K}_c \delta \mathbf{q} \quad (25)$$

Bu sayede kapalı kontrol için ayrıklaştırılmış sistem aşağıdaki hale gelmektedir:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{q}}(t) + \delta_v K_v \mathbf{K}_C \dot{\mathbf{q}}(t) + \mathbf{K}\mathbf{q}(t) + \delta_p K_p \mathbf{K}_C \mathbf{q}(t) = \mathbf{0} \quad (26)$$

$\mathbf{K}_C$  literatürde kontrol matrisi olarak tanımlanmış olup uygulanan kontrol yasasına göre ayrıklaştırılmış hareket denklemlerine katkıda bulunur. Denklem 53'te de görüldüğü üzere, iki ek terim  $\delta_p$  ve  $\delta_v$  hareket denklemlerine ilave edilmiştir ve sırasıyla oransal geri besleme kontrol yasası ile hız geri besleme kontrol yasalarının kullanımını ifade etmektedir (Librescu ve Song, 2005). Bu terimler kullanılan kontrol yasasına göre 1 veya 0 değerini alarak ayrıklaştırılmış hareket denklemlerini modifiye ederler. Oransal geri besleme kontrol yasasının kullanıldığı durumda  $\delta_p$  1 değerini alırken  $\delta_v$  0 değerini almaktadır. Hız geri besleme kontrol yasasının uygulandığı durumda ise tam tersi geçerlidir. Kontrol matrisi Song ve arkadaşları (2001) ve Librescu ve Song (2005) tarafından aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$\mathbf{K}_C = \begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & C_{11} \mathbf{N}_x(L) \mathbf{N}_x^T(L) & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & C_{22} \mathbf{N}_y(L) \mathbf{N}_y^T(L) \end{bmatrix} \quad (27)$$

Burada  $C_{11}$  ve  $C_{22}$  terimleri kullanılan piezoelektrik malzemenin elastik katsayılarını ifade etmektedir. Ayrıklaştırılmış hareket denklemlerinin durum-uzay temsiline geçirilmesi ile birlikte çözüm eldesi yapılabilir. Durum-uzay temsili aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) \quad (28)$$

$\mathbf{A}$  matrisi aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{I} \\ -\mathbf{M}^{-1} \hat{\mathbf{K}} & -\delta_v K_v \mathbf{M}^{-1} \mathbf{K}_C \end{bmatrix} \quad (29)$$

Burada  $\mathbf{0}$  ve  $\mathbf{I}$  sırasıyla sıfır ve birim matrisleri belirtmektedir.  $\hat{\mathbf{K}}$  matrisi ise aşağıdaki şekildedir:

$$\hat{\mathbf{K}} = \mathbf{K} + \delta_p K_p \mathbf{K}_C \quad (30)$$

Serbest titreşim problemleri için, Denklem 55'in çözümü aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{X}e^{\lambda t} \quad (31)$$

Bu durumda serbest titreşim problemi bir özdeğer problemine dönüşecektir.

$$\mathbf{A}\mathbf{X} = \lambda\mathbf{X} \quad (32)$$

Hız geri besleme kontrol yasasının uygulandığı durumda,  $K_v \neq 0$ , özdeğerler kompleks sayılar olacaktır.  $\mathbf{A}$  matrisinden de açıkça görüldüğü üzere, yapısal ya da diğer sönümlenme mekanizmaları devrede olmadığı zaman hız geri besleme kontrol yasası titreşim sönümlenmesi için tek seçenek olarak gözükmektedir. Özdeğerler ve yapısal sönümlenme faktörü ifadeleri aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$\lambda_r = \eta_r \pm i\omega_d r \quad (33)$$

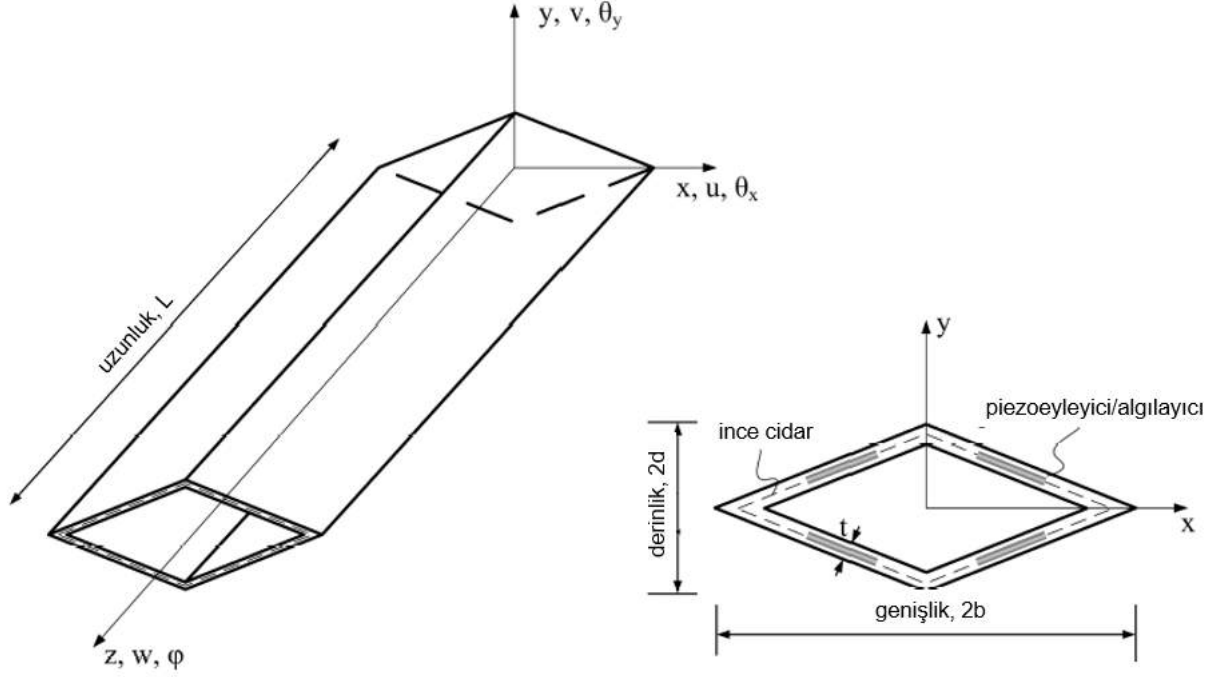
$$\xi_r = \frac{-\eta_r}{\sqrt{\eta_r^2 + \omega_d^2 r}} \quad (34)$$

Özdeğerler  $\lambda$  ile ifade edilmekteyken, yapının doğal frekansları  $\omega = \sqrt{\lambda}$  ile elde edilecektir. Kütle ve katılık matrisleri ile genelleştirilmiş koordinat vektörleri Eken ve Kaya (2015) tarafından detaylıca anlatılmıştır.

#### 4. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Yapılmış olan bu çalışmada, Şekil 1'de gösterilen elmas kesite sahip uyarlanabilir bir ince cidarlı kompozit kiriş sayısal simülasyonlar için incelenmiştir. Kullanılan kompozit (grafit-epoksi) ve piezoelektrik malzeme (PZT-4 seramikleri) özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Kapalı devre kontrol sistemi elde etmek için, piezoöyleyici ve algılayıcılar kompozit yapının içerisine çiftler olarak gömülmüş ve bütün kiriş boyunca yayılmıştır. İki farklı kontrol yasası ele alınmış ve bu kontrol yasaları için elyaf açısı ( $\theta$ ), açıklık oranı (AR) ve kalınlık

oranı ( $t/b$ ) parametrelerinin doğal frekanslar üzerinde etkisi incelenmiş ve tartışılmıştır. Elyaf açıları 0 ile 90 derece arasında 15'er derecelik açılarla değiştirilirken, açıklık oranları genişlik sabit tutularak 10 ile 30 arasında değiştirilmiş ve kalınlık oranları ise yine genişlik sabit tutularak 0.04 ile 0.12 arasında değiştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan modelin doğruluğunu test etmek amacıyla, piezoelektrik etkilerin dahil edilmediği çalışmamızın sonuçları (Yıldız vd., 2014) literatürde verilmiş olan sonuçlar (Librescu ve Song, 2005) ile karşılaştırılmış ve modelimizin doğruluğu kanıtlanmıştır.



Şekil 1 Elmas kesitli kanat geometrisi ve kesit alanı

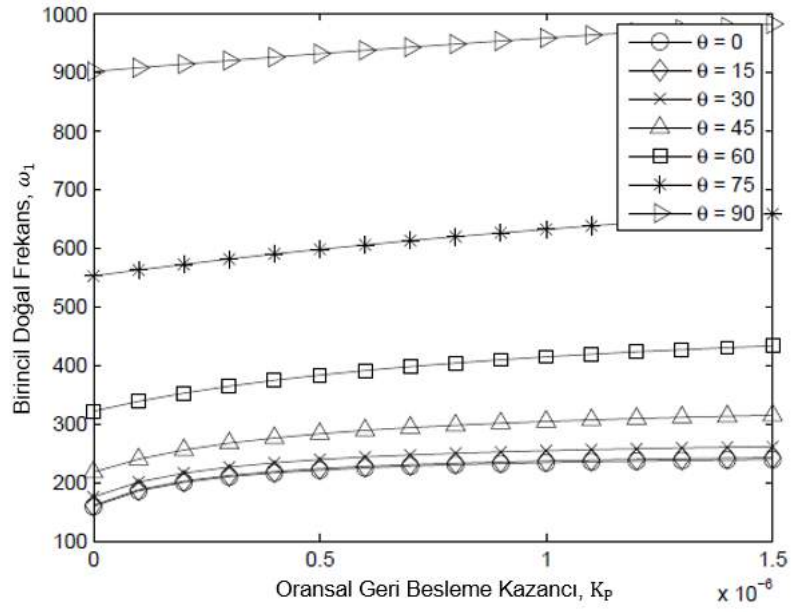
Tablo 1 Malzeme özellikleri ve kanadın geometrik bilgisi

Grafit-Epoksi		PZT-4	
$E_{11}$	206.75 GPa	$C_{11} = C_{22}$	139 GPa
$E_{22} = E_{33}$	5.17 GPa	$C_{12}$	77.77 GPa
$G_{12}$	3.10 GPa	$C_{13}$	74.30 GPa
$G_{13} = G_{23}$	2.55 GPa	$C_{33}$	115 GPa
$V_{21} = V_{31}$	0.00625	$C_{44}$	25.59 GPa
$V_{32}$	0.25	$\rho_p$	7498 kg/m <sup>3</sup>
$\rho$	1528.15 kg/m <sup>3</sup>	$e_{31}$	-5.202 N/Vm
		$e_{33}$	15.101 N/Vm
Geometri			
Genişlik, 2b		0.0254 m	
Derinlik, 2d		0.00508 m	
Kalınlık, h		0.001016 m	
Uzunluk, L		0.254 m	
Katman sayısı		6	

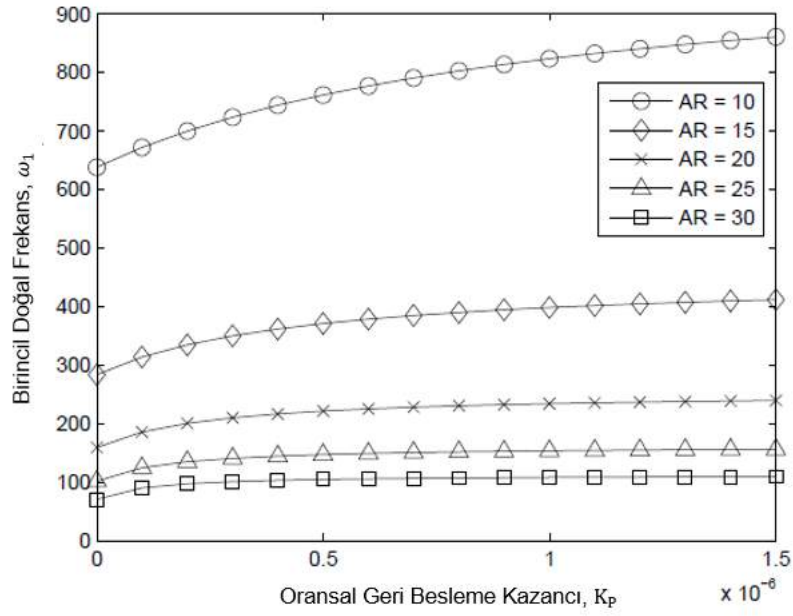
#### 4.1. Oransal Geri Besleme Kontrol Yasası

Yapılan bu çalışmada ilk olarak sisteme oransal geri besleme kontrol yasağı uygulanmış ve elyaf açısı, açıklık oranı ve kalınlık oranı yapının doğal frekansları üzerindeki etkisi artan oransal geri besleme kazancı altında incelenmiştir. Bu sonuçlar sırasıyla Şekil 2, 3 ve 4'te gösterilmiştir.

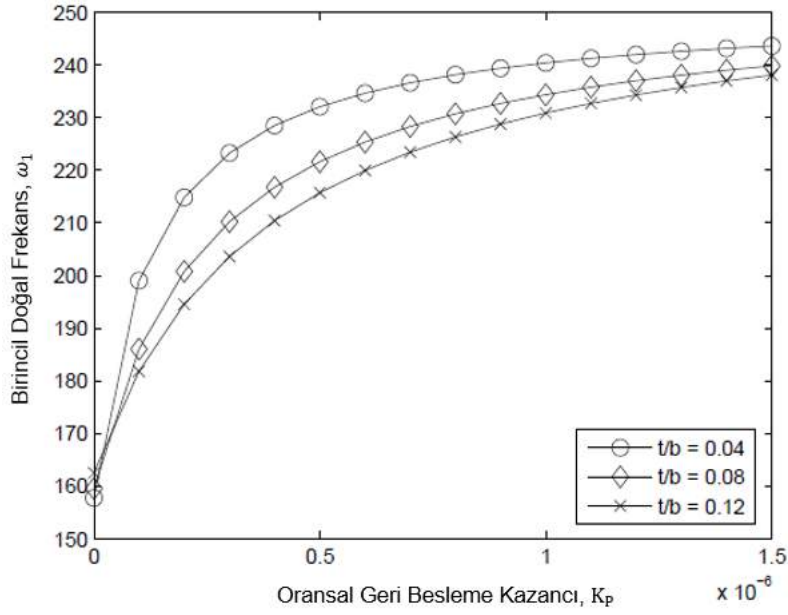




Şekil 2 Doğal frekansların seçilmiş olan elyaf açıları için oransal geri besleme kazancı ile değişimi



Şekil 3 Doğal frekansların seçilmiş olan açıklık oranları için oransal geri besleme kazancı ile değişimi



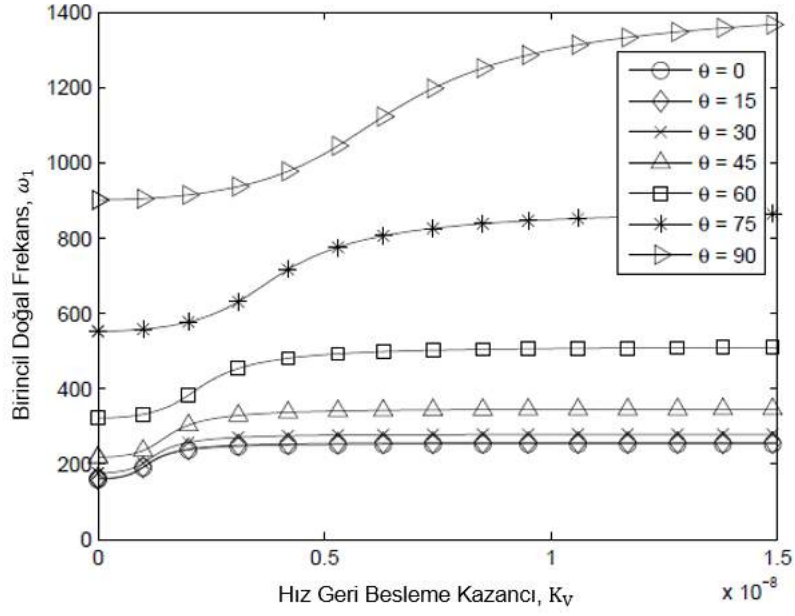
Şekil 4 Doğal frekansların seçilmiş kalınlık oranları için oransal geri besleme kazancı ile değişimi

Şekil 2'den görüldüğü kadarıyla doğal frekansların artan oransal geri besleme kazancı ile statik gibi (quasi-static) davranış gösterdiği ortaya çıkmıştır. Her ne kadar doğal frekanslardaki değişim oransal geri besleme kontrol yasası ile oldukça az gözükse de en yüksek kontrol edilebilirlik düşük elyaf açıları ile elde edilmiştir. Şekil 3'te gösterilmiş olan sonuçlara göre kanadın açıklık oranı arttığında doğal frekanslarda azalma gözlenmiş ve aynı zamanda kontrol edilebilirlik ortadan kalkmıştır. Kalınlık oranının değişimi ile doğal frekanslardaki değişim Şekil 4'te gösterilmiştir. Kalınlık oranının azalması ile daha ince kirişler elde edilmiş ve daha yüksek kontrol edilebilirlik ortaya çıkmıştır. Böylece kontrol kazancının değişimi ile birlikte doğal frekansların yükseltilmesi daha efektif bir şekilde sağlanabilecektir.

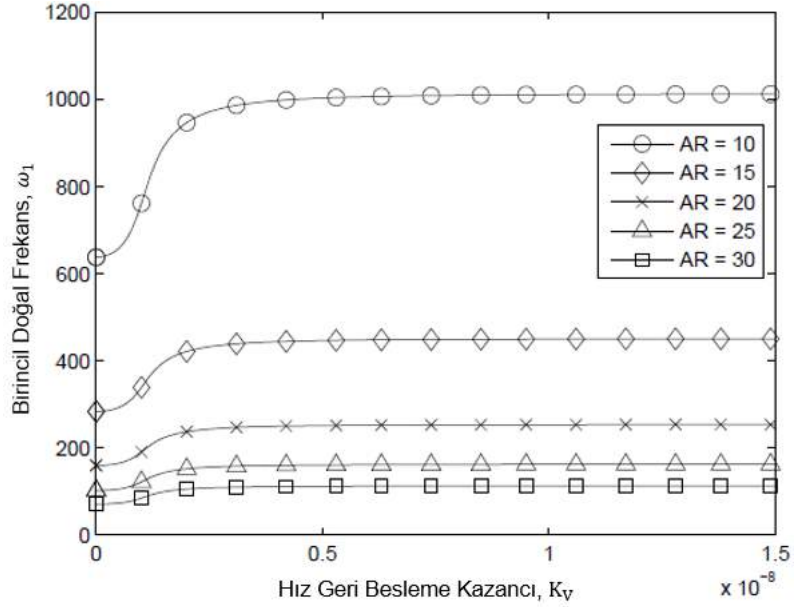
#### 4.2. Hız Geri Besleme Kontrol Yasası

İkinci kontrol yasası olarak aynı elmas kesitli kanat üzerine hız geri besleme kontrol yasası uygulanmış ve sonuçlar benzer bir şekilde verilmiştir. Öncelikli olarak elyaf açısının doğal frekanslar üzerindeki etkisi artan hız geri besleme kazancı altında incelenmiştir. Şekil 5'te görüldüğü üzere, elyaf açısındaki artış ile birlikte doğal frekanslarda artış gözlemlenmiştir. Oransal geri besleme kontrol yasasından farklı olarak, kontrol edilebilirlik yüksek elyaf açılarında artan kontrol kazancı çok yüksek olarak elde edilmiştir. Ayrıca yüksek elyaf açıları için doğal frekanslarda ani değişimler görülmüş ve bu değişimler için gerekli olan kontrol kazancının elyaf açısının artması ile yükseldiği ortaya konmuştur.

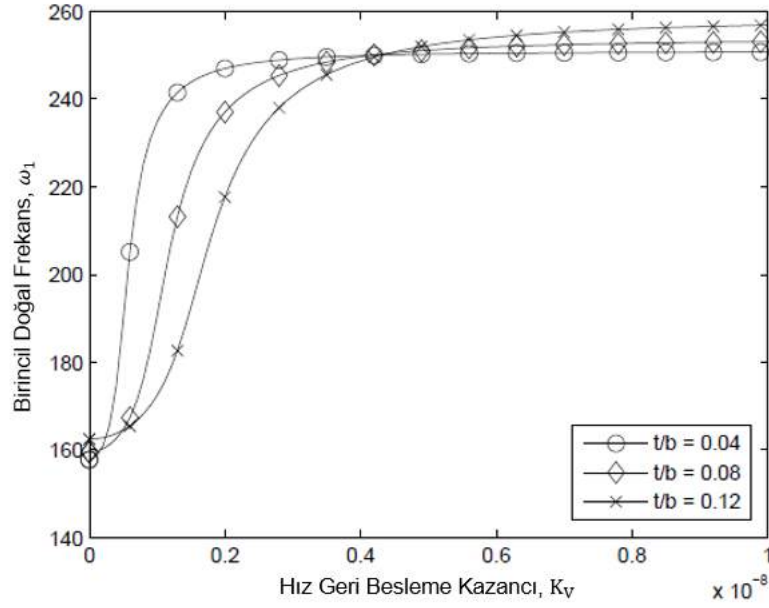
Şekil 6'de kirişin açıklık oranının doğal frekanslar üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar oransal geri besleme kontrol yasasına benzer davranış ortaya koymaktadır. Artan açıklık oranı ile doğal frekanslarda azalma gözlenmiş ve kontrol edilebilirlikte düşüş yaşanmıştır. Son olarak Şekil 7'de kalınlık oranının değişimi ile birlikte doğal frekanslardaki değişim incelenmiştir. Elde edilen sonuçların ilginç bir davranış sergileyi gözlemlenmiştir. En kalın kiriş herhangi bir kontrolün olmadığı durumda en düşük doğal frekansı gösterirken, uygulanan hız kontrol kazancı ile birlikte, sahip olduğu kontrol edilebilirlik sayesinde, doğal frekansta çok büyük değişimler yaşanmış ve daha ince kirişlerin doğal frekanslarından daha yüksek doğal frekans elde edilmiştir.



*Şekil 5 Doğal frekansların seçilmiş olan elyaf açıları için hız geri besleme kazancı ile değişimi*

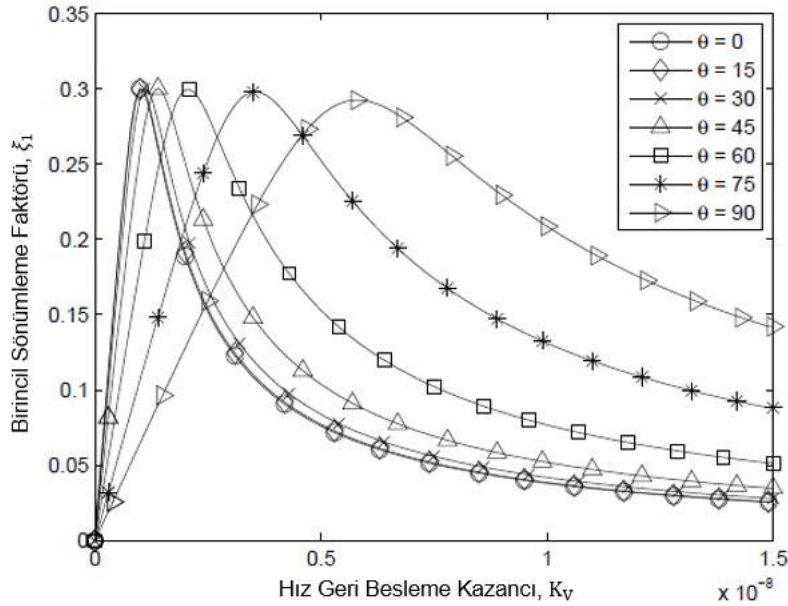


*Şekil 6 Doğal frekansların seçilmiş olan açıklık oranları için hız geri besleme kazancı ile değişimi*



Şekil 7 Doğal frekansların seçilmiş olan kalınlık oranları için hız geri besleme kazancı ile değişimi

Son olarak ise sönümlenme faktörlerinin artan hız kontrol kazancı ile değişimi seçili elyaf açıları için incelenmiştir. Şekil 8’de verilen sonuçlara göre sönümlenme faktörleri belirli bir maksimum değere ulaşmakta ve daha sonrasında ani bir şekilde düşmektedir. Beklenen davranışın aksine, sönümlenme faktörleri artan kontrol kazancı ile birlikte artmaya devam etmemektedir. Elde edilen bu sonuç aynı zamanda Tzou (1993) tarafından da rapor edilmiştir. Arttırılan hız kontrol kazancı ile birlikte sönümlenme faktörlerinde artış sağlanmış ancak daha sonrasında ciddi düşüşler gözlemlenmiştir.



Şekil 8 Sönümlenme faktörünün seçilmiş olan elyaf açıları için hız geri besleme kazancı ile değişimi

## 5. Sonuç

Yapılmış olan bu çalışmada bir uçak kanadının piezoelektrik malzemeler yardımıyla aktif titreşim kontrolü sınır moment kontrolü yöntemi ile çalışılmıştır. Uçak kanadı ince cidarlı kompozit kiriş olarak modellenmiş ve anti-simetrik konfigürasyonda eğilme-eğilme bağlaşımını modelleyen hareket denklemlerinden yola çıkılarak, çözüm yöntemi anlatılmıştır. İki farklı geri besleme kontrol yasası ele alınmıştır ve bu kontrol yasalarının etkisi altında uçak kanadının dinamik davranışı incelenmiştir. Elyaf açısı, açıklık oranı ve kalınlık oranı gibi parametrelerin değişiminin doğal frekanslar üzerindeki etkisi elde edilmiş ve kontrol yasalarının kıyaslaması yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar ışığında kapalı devre aktif titreşim kontrol yöntemlerinin hava-uzay yapılarının tasarımında oynayabileceği önemli rol ortaya konulmuştur. Sınır moment kontrolü ile birlikte doğal frekanslarda artışlar sağlanmış, dolayısıyla çalışılan uçak kanadının dinamik performansının potansiyel olarak geliştirilebileceğinin sinyaller verilmiştir. Aynı zaman uygulanacak kapalı kontrol sistemleri sayesinde, dinamik kararsızlıkların da önüne geçilebileceği düşünülmektedir. Her ne kadar incelenen iki kontrol yasası da bu bağlamda iyileştirmeler sağlayabilecek potansiyelde olsalar da hız geri besleme kontrol yasası ilave yapısal sönümlenme yeteneği kazandırabileceğinden, oransal geri besleme kontrol yasasına göre daha elverişli bulunmuştur.

## **Kaynakça**

- Bailey, T., & Hubbard Jr, J. E. (1985). Distributed piezoelectric-polymer active vibration control of a cantilever beam. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 8(5), 605-611.
- Crawley, E. F., & De Luis, J. (1987). Use of piezoelectric actuators as elements of intelligent structures. *AIAA journal*, 25(10), 1373-1385.
- Eken, S., & Kaya, M. O. (2015). Flexural-torsional coupled vibration of anisotropic thin-walled beams with biconvex cross-section. *Thin-Walled Structures*, 94, 372-383.
- Ghosh, K., & Batra, R. C. (1995). Shape control of plates using piezoceramic elements. *AIAA Journal*, 33(7), 1354-1357.
- Han, J. H., Rew, K. H., & Lee, I. (1997). An experimental study of active vibration control of composite structures with a piezo-ceramic actuator and a piezo-film sensor. *Smart Materials and Structures*, 6(5), 549.
- Librescu, L., Song, O., & Rogers, C. A. (1993). Adaptive vibrational behavior of cantilevered structures modeled as composite thin-walled beams. *International Journal of Engineering Science*, 31(5), 775-792.
- Librescu, L., Meirovitch, L., & Song, O. (1996). Integrated structural tailoring and control using adaptive materials for advanced aircraft wings. *Journal of Aircraft*, 33(1), 203-213.
- Librescu, L., Meirovitch, L., & Na, S. S. (1997). Control of cantilever vibration via structural tailoring and adaptive materials. *AIAA journal*, 35(8), 1309-1315.
- Librescu, L., & Song, O. (2005). *Thin-walled composite beams: theory and application (Vol. 131)*. Springer Science & Business Media.
- Meirovitch, L. (1997). *Principles and techniques of vibrations (Vol. 1)*. New Jersey: Prentice Hall.
- Mitchell, J. A., & Reddy, J. N. (1995). A refined hybrid plate theory for composite laminates with piezoelectric laminae. *International Journal of Solids and Structures*, 32(16), 2345-2367.
- Na, S. (1997). Control of dynamic response of thin-walled composite beams using structural tailoring and piezoelectric actuation (Doctoral dissertation, Virginia Tech).
- Na, S., & Librescu, L. (1998). Oscillation control of cantilevers via smart materials technology and optimal feedback control: actuator location and power consumption issues. *Smart Materials and Structures*, 7(6), 833.
- Na, S., & Librescu, L. (2000a). Dynamic response of adaptive cantilevers carrying external stores and subjected to blast loading. *Journal of Sound and Vibration*, 231(4), 1039-1055.
- Na, S., & Librescu, L. (2000b). Optimal vibration control of thin-walled anisotropic cantilevers exposed to blast loadings. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 23(3), 491-500.
- Qin, Z. (2001). *Vibration and Aeroelasticity of Advanced Aircraft Wings Modeled as Thin-Walled Beams--Dynamics, Stability and Control (Doctoral dissertation, Virginia Tech)*.
- Wang, B. T., & Rogers, C. A. (1991). Laminate plate theory for spatially distributed induced strain actuators. *Journal of Composite Materials*, 25(4), 433-452.
- Song, O., Kim, J. B., & Librescu, L. (2001). Synergistic implications of tailoring and adaptive materials technology on vibration control of anisotropic thin-walled beams. *International Journal of Engineering Science*, 39(1), 71-94.
- Tzou, H. (1993). *Piezoelectric shells: Distributed sensing and control of continua*.
- Yildiz, K., Eken, S., & Kaya, M. O. (2014, November). Active Vibration Control of Aircraft Wings Modeled as Thin-Walled Composite Beams Using Piezoelectric Actuation. In *ASME 2014 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*. American Society of Mechanical Engineers Digital Collection.





# Türkiye'de Teşvik Uygulamalarının İstihdama Katkısı: Seçilmiş İller Üzerine Bir Panel Veri Analizi

Nihat Doğanalp\*

<sup>1</sup> Selçuk Üniversitesi, Beyşehir Ali Akkanat İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4934-179X)

(İlk Geliş Tarihi 1 Aralık 2019 ve Kabul Tarihi 31 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.659482)

**ATIF/REFERENCE:** Doğanalp, N. (2019). Türkiye'de Teşvik Uygulamalarının İstihdama Katkısı: Seçilmiş İller Üzerine Bir Panel Veri Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1285-1293.

## Öz

Yatırım teşvikleri, devlet tarafından istihdam, yatırım ve üretimde artış sağlamak amacıyla kamu ve özel sektöre uygulanan destekler olarak nitelendirilmektedir. Cumhuriyetin ilanından günümüze kadar yatırım teşvik sistemleri yatırım ortamının şekillendirilmesi açısından sanayileşme ve istihdam politikalarının en önemli araçlarından birisi olmuştur. Zamanla ekonomik hayatın dinamik yapısı ile toplumun ihtiyaçlarının çeşitlenmesi bu ihtiyaçların kamu tarafından karşılanması ihtiyacını doğurmuştur. Bu çerçevede devletlerin ekonomik hayattaki varlığı ve ekonomik hayata müdahalesi hemen hemen tüm ülkelerde maliye politikası araçları vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Bir maliye politikası aracı olarak teşvik politikaları da ekonomik kalkınma ve toplumsal refah açısından hükümetlerin sıklıkla başvurduğu araçlar olmuşturlardır. 2012 yılında uygulamaya geçirilen yeni teşvik sisteminin en temel hedeflerinden birisi yeni istihdam olanakları oluşturmaktır.

Bu çalışmanın temel amacı nüfus bakımından Türkiye'de ilk 7 sırada bulunan illerin teşvik belgeli yatırımlarının istihdam üzerindeki etkilerini ortaya koymaktır. Bu kapsamda İstanbul, Ankara, İzmir, Adana, Bursa, Antalya ve Konya illerinde teşvik belgeli yatırım tutarlarının istihdam üzerindeki etkisi panel veri analizi yardımıyla incelenmiştir. Analiz sonuçlarında ilgili illerde yapılacak teşvik başvurusu sayısında 1 birimlik artış olması yaklaşık 25 yeni istihdam olanağının doğması, sabit yatırımlarda meydana gelecek 100 milyonluk bir artış da 26 kişiye yeni istihdam olanağı oluşturması anlamına gelmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Yatırım Teşvikleri, Teşvik Politikası, İstihdam

## Employment Contribution of Incentive Implementation in Turkey: A Panel Data Analysis on Selected Cities

### Abstract

Investment incentives are defined as subsidies applied to the public and private sectors by the government in order to increase employment, investment and production. Since the proclamation of the Republic, investment incentive systems have been one of the most important tools of industrialization and employment policies in terms of shaping the investment environment. In time, the dynamic structure of the economic life and the diversification of the needs of the society created the need to meet these needs by the public. In this context, the existence of states in the economic life and the intervention in the economic life has been realized in almost all countries through the means of fiscal policy. As an instrument of fiscal policy, incentive policies have been the tools frequently used by governments in terms of economic development and social welfare. One of the main objectives of the new incentive system introduced in 2012 is to create new employment opportunities.

The main objective of the study population in terms of investment incentive certificates of the provinces in Turkey in the first seven to reveal their impact on employment. In this context, the effect of investment incentives with investment incentives in İstanbul, Ankara, İzmir, Adana, Bursa, Antalya and Konya on employment was examined with the help of panel data analysis. According to the results of the analysis, an increase of 1 unit in the number of incentive applications to be made in the related provinces means that approximately 25 new employment opportunities will be created and an increase of 100 million in fixed investments will create 26 new employment opportunities.

\* Dr. Öğr. Üy., Selçuk Üniversitesi, Beyşehir Ali Akkanat İşletme Fakültesi, Beyşehir-Konya, Türkiye, ORCID: 0000-0003-4934-179X, [ndoganalp@selcuk.edu.tr](mailto:ndoganalp@selcuk.edu.tr)

**Keywords:** Investment Incentives, Incentive Policies, Employment.

## 1. Giriş

Günümüzde gelişmişlik düzeyi ne olursa olsun hemen hemen her ülkede bölgesel kalkınmaya yönelik olarak farklı politikalar uygulanmaktadır. Teşvik uygulamaları ilgili politikaların en önemli araçlarından biridir. Dünyada yaşanan değişimlere ayak uydurabilen ve hemen sürece entegre olabilen bir teşvik sistemi gelişmekte olan ülkelerde bölgesel kalkınma bakımından büyük öneme sahiptir. Ekonomik kalkınma teşvikleri bireysel işletmeler yönelik olarak uygulanan vergi iadeleri veya vergisel bazı avantajlar ekseninde uygulanabilen bir dizi uygulamayı kapsar. Hükümetlerin teşvikler ile ulaşmaya çalıştıkları temel hedef ekonomik kalkınma ekseninde büyümeye ve istihdama katkı sağlamaktır. Planlı kalkınma döneminin başlangıcından bu yana Türkiye’deki süreç incelendiğinde, ekonomik gelişmişlik düzeyini artırmak amacıyla bazı faaliyetlerin teşvik edildiği gözlenmektedir. Bölgeler arası sosyo-ekonomik gelişmişlik farklarının önemli düzeylere ulaştığı Türkiye’de sektörel bazda öngörülen genel teşviklerin yanı sıra bazı yöreler için teşvik tedbirlerinin daha da avantajlı hale getirildiği gözlenmektedir.

Yaşanan değişimler ve sektörel açıdan stratejik adımlar atılması ihtiyacı yeni bir teşvik sisteminin geliştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Bu çerçevede Bakanlar Kurulu’nun 2012/3305 sayılı Kararı ile yürürlüğe konulan Yeni Teşvik Sistemi (YTS) ile önceki sistemden farklı olarak, bir takım yeni düzenlemelere gidildiği görülmektedir. Yeni Teşvik Sistemi ile stratejik yatırımlar kavramına vurgu yapılarak yeni bir bölgesel harita ihdas edilmiş ve illerin sosyo-ekonomik gelişmişlik düzeyi esas alınarak, daha önce “4” olan bölge sayısı “6”ya çıkarılmıştır. Bununla birlikte yeni teşvik sistemi ile il bazlı bölgesel teşvik sistemine geçilmiş diğer bir ifadeyle bölgesel teşviklerden yararlandırılacak yatırım konuları, sektörel olarak, il bazında yeniden belirlenmiştir. Diğer taraftan büyük ölçekli yatırım kapsamında desteklenecek faaliyetlerin minimum yatırım tutarları düşürülmek suretiyle, büyük yatırımların sayıca artırılması amaçlanmıştır.

Türkiye nüfusunun büyük bir kısmını barındıran illerde uygulanan teşviklerin istihdam üzerindeki etkisi son derece önem arz etmektedir. Bu çalışmanın temel amacı Türkiye’de uygulanan teşvik politikaları ekseninde seçilmiş iller bazında teşvikli yatırımların istihdam üzerindeki etkisini ortaya koymaktır.

## 2. Teşvik Kavramı

Teşvik kavramı isteklendirme, özendirme gibi anlamları içermektedir. Yatırım teşvikleri ise, genelde hükümetler vasıtasıyla seçilmiş bölge veya sektörler için yatırım yapılması amacıyla bu alanlarda sağlanan ölçülebilir avantajlar olarak tanımlanmaktadır. Bu avantajlar genel itibarıyla yatırımcının kârını artırmaya veya yatırımcıların maliyet ve risklerini azaltmaya yönelik teşvikler kapsamaktadır (UNCTAD, 2000: 11).

Genel anlamda teşvikler ile ilgili bir sınıflandırma Tablo-1’de sunulmuştur.

Tablo 1: Teşvik Türleri

Teşvik Türü	Tanım ve Kapsamı
<i>Ekonomik teşvikler</i>	Düşük faizli kredi, enerji ve hammaddenin düşük fiyatla temini ve insan kaynaklarının geliştirilmesine yönelik faaliyetler gibi uygulamalardan oluşup daha çok desteklenen ekonomik faaliyetlerin maliyetini azaltıp kârlılığını arttırmaya yönelik sağlanan teşvik uygulamalarıdır
<i>Mali teşvikler</i>	Sübvansiyonlar, alt yapı yatırımları, vergi muafiyet ve indirimleri, vergi iadesi gibi uygulamalar olup daha çok kamu harcamaları ve vergisel teşvikler olarak ön plana çıkmaktadır.
<i>İdari ve teknik teşvikler</i>	Ürün tanıtımı amacıyla açılan fuar, sergi, patent ve lisans haklarının sağlanması, yetişmiş insan gücü konusundaki yardımları kapsayan uygulamalar ise olarak nitelendirilmektedir. Ar-Ge faaliyetlerinin desteklenmesi, lisans ve know-how alma kolaylıkları, yabancı teknik personel çalıştırma imkânı, verimliliği özellikle de işgücü verimliliğini arttırmaya yönelik teşvikler de bu başlık altında değerlendirilebilmektedir.

<i>Spesifik teşvikler</i>	Spesifik bir alanın veya bir problemin çözümlenmesine yönelik olarak uygulanan hem nakdi hem de nakdi olmayan teşvikleri kapsamaktadır. Örneğin ihracata yönelik uygulanan teşvikler spesifik teşvik kapsamında değerlendirilebilmektedir
<i>Menfi teşvikler</i>	Emsallerine göre daha ağır vergilendirme, gelişim olanaklarını kısıtlama, yürüttüğü faaliyetleri sıkı bir denetim altında bulundurma gibi uygulamalar ise kısıtlama olarak adlandırılmaktadır.

**Kaynak:** Durman ve Önder (2006); Çiloğlu (1996); Berberoğlulil (1994).

## 2.1. Teşvik Uygulamalarının Amaçları

Teşvik uygulamaları ile hükümetlerin ekonomik açıdan ulaşmak istedikleri temel hedef ilgili ülkenin izlediği iktisadi ve siyasi politikalar ile uyum çerçevesinde ekonominin geneli veya belli bir sektör üzerinde mevcut durumu daha da iyiyeye taşımaktır. Ekonomik ve sosyal sorunları çözmeye mevcut iktisadi şartların iyileştirilmesine yönelik olarak uygulamada en temel kamusal müdahale araçlarından birisi devlet teşvikleri olup bu teşvikler paralelinde sosyal devlet anlayışı da gelişim göstermiş olmaktadır.

Tarihsel açıdan bakıldığında hükümetlerin ekonomik yönetime şekil vermek amacıyla teşvik araçlarını kullanmaları uzun bir geçmişe dayanmaktadır. Özellikle ekonomik krizlerden sonra meydana gelen olumsuzlukların giderilmesinde teşvik politikaları birçok ülkede önem arz eden politikalar arasında yer almaktadır. Ancak çoğu zaman teşvik uygulamalarına, ekonomik ve sosyal sorunların uzun vadeli çözümünden çok kısa vadede bu sorunların azaltılması amacıyla başvurulduğu gözlenmektedir. Teşvik politikaları, 21. yüzyılda gelişmiş dünya piyasalarıyla sağlıklı bir etkileşimde bulunabilme açısından Türkiye için de vazgeçilemeyen araçlardandır. Türkiye, bir taraftan piyasa ekonomisinin getirdiği yapısal sorunları çözüme kavuşturmak, ulusal refahını arttırmak, rekabetçi bir ekonomiye sahip olabilmek ve doğrudan yabancı sermaye pastasından pay alabilmek gibi amaçlar doğrultusunda teşvikleri kullanırken diğer taraftan da uluslararası örgütlerin özellikle Avrupa Birliği'nin- ilkeleri kapsamında sürekli mevcut uygulamalarını revize etmektedir (Akdeve ve Karagöl, 2013: 341).

Bu doğrultuda Türkiye teşvik sisteminde bazı yeniliklere gitmiştir. Türkiye'nin 2023 hedefleri doğrultusunda dünyada ilk on ekonomi arasında yer almak, kişi başına düşen milli gelir düzeyini 25 bin dolara çıkarmak ve ihracatın 500 milyar dolar seviyelerine çıkarılması amacıyla "Yeni Teşvik Sistemi" hazırlanmıştır. Bu amaçlara ulaşılabilmesi ancak devletin yapısal ve yasal anlamda sağlayacağı destekler ile mümkün olabilir. Yeni teşvik sisteminin hazırlanmasının birincil amaçlarından birisi de budur. Yeni teşvik sistemi kapsamında Türkiye'nin mevcut ekonomik yapısı dikkate alındığında konulan makroekonomik hedeflere ulaşılabilmesinin yapılması gereken mikro yenilikler temeline dayandığı ifade edilmektedir. Bu doğrultuda üretim ve istihdam düzeyinin artırılması, bölgesel gelişmişlik farklarının azaltılması yeni teşvik sisteminin temel mikro amaçları arasında sayılmaktadır (Akdeve ve Karagöl, 2013: 342).

Türkiye'nin 2023 hedefleri ile üretim ve ihracat odaklı büyüme stratejisi açısından büyük önem arz eden yeni yatırım teşvik programı, kalkınma planları ve yıllık programlarda düşünülen hedeflere uygun olarak:

- Tasarrufları, katma değeri yüksek yatırımlara yönlendirmek,
- Üretimi ve istihdamı artırmak,
- Uluslararası rekabet gücünü arttıracak ve araştırma-geliştirme içeriği yüksek büyük ölçekli yatırımlar ile stratejik yatırımları özendirme,
- Uluslararası doğrudan yatırımları arttırmak,
- Bölgesel gelişmişlik farklılıklarını azaltmak,
- Kümelenme ve çevre korumaya yönelik yatırımları özendirme gibi amaçların gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir ([www.ekonomi.gov.tr](http://www.ekonomi.gov.tr)).

## 2.1. Teşvik Uygulamaları ve İstihdam

Tüm ekonomilerin temel makroekonomik hedeflerinin başında işsizliğin azaltmak ve istihdam yaratmak gelmektedir. On işten dokuzunun özel sektör eliyle arz edildiği dikkate alındığında özel sektörün istihdam yaratmadaki rolü ve devletin özel sektör girişimcilerine uygun yatırım ortamı sağlamak, yeterli iş ortamı (decent job) oluşturmalarına zemin hazırlamak ve bu nitelikteki iş imkanlarının artması için engelleri ortadan kaldırma rolü de son derece önem arz etmektedir.

Pek çok ülkede olduğu gibi Türkiye'de teşvik uygulamaları vasıtasıyla işsizliği azaltmaya yönelik faaliyetler yürütülmektedir. Dünya Bankası'nın sınıflandırmasına göre ülkeler gelir düzeyleri dikkate alınarak alt, orta (alt orta, üst orta olarak ayrıca sınıflandırılır) ve üst gelir düzeyi olmak üzere üç ana kategoriye ayırmaktadır. Bu kapsamda, orta ve düşük gelirli ülkelerdeki işgücü politikaları için belirlenmiş üç ortak hedef:

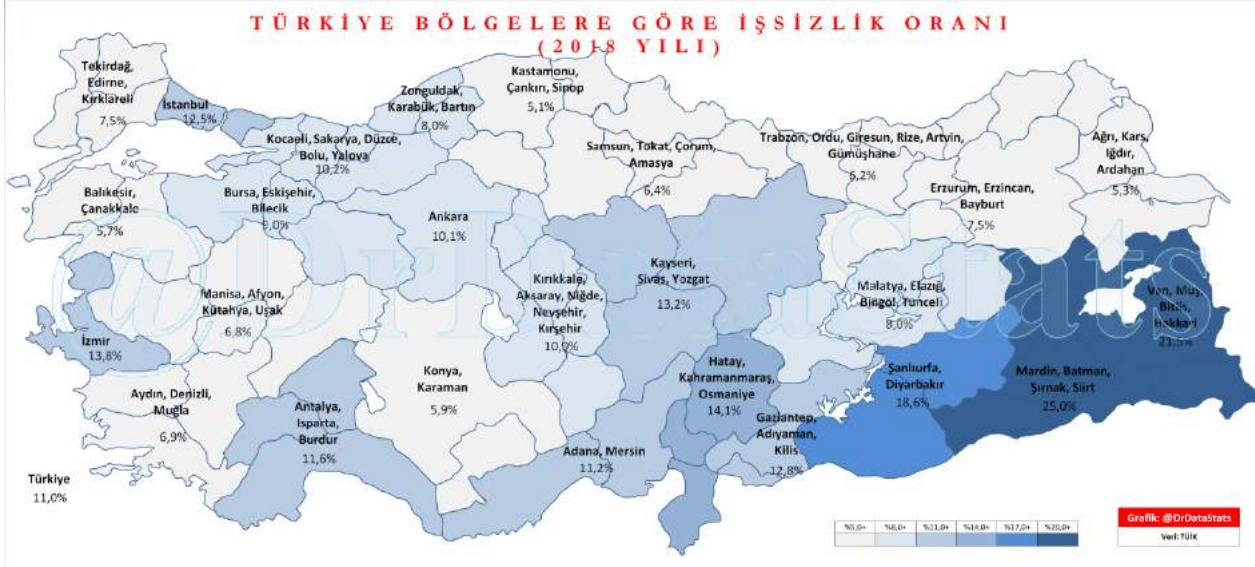
- Kişilerin çalışması için uygun ortam sağlamak, onları teşvik etmek
- Yüksek kaliteli, düzgün işler yaratılmasını garanti altına almak
- Riskleri yönetmek ve işgücü piyasasındaki geçişleri kolaylaştırmak şeklinde sıralanabilir.

Bu hedeflere ulaşmada sağlam bir makroekonomik yapının yanı sıra kendi hesabına çalışanlara ve girişimci olmak isteyenlere doğrudan teşvikler sağlamak suretiyle destek olunması ile birlikte işsizlik ve gelir şokları gibi risklere yönelik önlemler alma boyutu

da ön plana çıkmaktadır. İlaveten friksiyonel işsizliği azaltmaya yönelik olarak Aktif İşgücü Piyasası Politikaları (AİPP) ön plana çıkarılması gerekmektedir. Dünya Bankası'nın sınıflandırmasına göre üst orta gelir düzeyinde bulunan, yaşlanma eğiliminde olan ve kayıt dışılığın azaldığı bir ülke olarak nitelendirilen Türkiye için de yukarıda sayılan ortak amaçların geçerli olduğu söylenebilir. İşgücü piyasalarında belirlenen hedeflere ulaşmak için yüksek düzeylerde kamu harcaması yapılan OECD ülkelerinde AİPP kapsamında genel olarak kamu istihdam hizmetleri, meslek eğitimi, gençliğe yönelik önlem politikaları, istihdam teşvik politikaları ve engellilere yönelik tedbirler başlıkları altında çeşitli politikalar uygulanmaktadır.

Türkiye'de nüfusun büyük kısmını barındıran illerde teşvik başvurularının ve teşvikli yatırımların daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Türkiye'de TÜİK'in bölgesel bazlı hesaplamalarına göre 2018 yılına ilişkin işsizlik oranlarının dağılımı Şekil-1'de sunulmuştur.

Şekil 1: 2018 Yılı Bölgesel Düzeyde İşsizlik Oranları



Kaynak: www.tuik.gov.tr

### 3. Literatür

Thomas (2000) ekonomik kalkınma teşviklerinin ABD eyaletlerinin ve belediyelerin iş yaratmalarına yardımcı olmak için kullanılan ve bütçeden yıllık 50 milyar dolardan fazla kaynak aktarıldığı yaygın bir politika aracı haline dönüştüğünü vurgulamaktadır. Her ne kadar teşviklerin nihai amacı yatırım hacmini ve istihdamı artırarak ekonomik kalkınmaya katkıda bulunmak olsa da literatürde yer alan bazı çalışmaların özellikle teşvik uygulamalarının etkisizliğine vurgu yaptığı görülmektedir.

Schalk ve Gerhard (2000) çalışmasında Batı Almanya'da bölgesel yatırım teşvikleri ile, bölgesel talep, büyüme ve kişi başına düşen gelir arasındaki ilişkiler incelenmiş ve diğer ülkelerde yapılan çalışmaların aksine Almanya'da bölgesel yatırım teşviklerinin istihdama olumlu etkilerinin olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

James (2009) teşviklerin %70' inin zaten yatırım yapacak veya genişletecek şirketlere tahsis edildiğini bundan dolayı teşvik uygulamalarının etkin olmadığını vurgulamaktadır.

Jensen vd. (2015), dünya genelinde teşvik programlarına ilişkin araştırmaları gözden geçirerek bu teşviklerin etkisizliğini ortaya koyan bir model geliştirmişlerdir.

Parilla ve Liu (2018) ABD'nin dört şehri üzerine yaptıkları teşviklerle ilgili inceleme sonucunda daha ekonomik ve titiz bir teşvik yaklaşımına doğru ilerleme gözlemlendiğini ve ekonomik kalkınmaya yönelik önemli ilerlemeler kat edildiğini ileri sürmektedirler.

### 4. Metodoloji

Panel veri analizi kesit ve zaman serilerinin bir arada kullanılmasına imkan tanıdığından hem değişken büyüklüğü hem de bu değişkenlerin seyrini bilmek açısından son derece önemlidir. Panel veri analizi ile amaçlanan bir diğer şey değişkenler arası değişimi tanımlamak ve kestirim yapabilmektir (Hsiao, 2003: 89).

Kesit ve zaman serilerinin bir araya geldiği panel veri analizlerinde de değişkenlerin durağanlıkları ve uzun dönemde birlikte hareket edip etmedikleri incelemeye tabi tutulur. Bununla birlikte verilerin durağan olmaması halinde ortaya çıkabilecek sahte tahminler bertaraf edilmiş olur (Altunkaynak, 2007: 15).

Panel veri analizlerinde sıklıkla Sabit ve Rassal Etkiler Modeli çerçevesinde analizler yapılır. Bu modeller arasındaki ana farklılık sabit terimlerdir. Sabit etkiler modelinde her bir kesite ilişkin ayrı bir sabit terim bulunurken rassal etkiler modelinde birimlerin farklılıkları hata terimi yardımıyla modellenmektedir (Greene, 2010: 360). Sabit ve rassal etkiler modelinin her ikisinde de dışlanan etkileri modele dahil etmek mümkündür.

Eğim katsayısının sabit olduğu ve sadece kesit veya zaman verisi ekseninde değişim gösteren modeller “sabit etkiler modeli” olarak anılırken birimlere ve zamana göre meydana gelen değişikliklerin modele bir hata terimi bileşeni olarak dahil edildiği modeller ise rassal etkiler modeli olarak adlandırılmaktadır (Baltagi, 1995: 13).

Rassal etkiler modeli, sadece kesit birim farklarını ele aldığına “Tek Yönlü Rassal Etkiler Modeli”, iki boyuta göre oluşan farkları ele aldığına ise “İki Yönlü Rassal Etkiler Modeli” şeklinde adlandırılmaktadır (Uğur, 2009: 57).

Tek yönlü bir rassal etkiler modeli:

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta X_{it} + e_{it}$$
 şeklinde yazılabilirken

İki yönlü bir rassal etkiler modeli:

$$Y_{it} = \beta_0 + \mu_i + \alpha_t + \beta X_{it} + v_{it}$$

Bu çalışmada kullanılan veri seti Teşvik Uygulama ve Yabancı Sermaye Genel Müdürlüğü’nün veri tabanından derlenmiştir. Çalışmada 2012(q1)-2019(q2) dönemine ait üçer aylık veriler kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan değişkenlerin Tablo-2’de sunulmuştur.

Tablo 2: Analizlerde Kullanılan Değişkenler

Değişken Sembolü	Değişken Adı
EMP	İstihdam
INCER	Teşvik Belgesi
FIXIN	Teşvik Belgeli Sabit Yatırım Düzeyi

## 5. Bulgular

Analizlerde kullanılan değişkenlere ilişkin tanımlayıcı istatistikler tabloda sunulmuştur.

Tablo 3: Tanımlayıcı İstatistikler

	EMP	INCER	FIXIN
Ortalama	2351.633	62.07619	1428.205
Medyan	1654.500	51.00000	712.0000
Max	16127.00	196.0000	20909.00
Min	115.0000	10.00000	47.00000
Std. Hata	2201.231	37.85308	2490.704
Skewness	2.877842	1.159162	5.105242
Kurtosis	15.16663	3.851035	34.15244
Jarque-Bera	1585.104	53.36525	9403.875
Probability	0.000000	0.000000	0.000000
Sum	493843.0	13036.00	299923.0
Sum Sq. Dev.	1.01E+09	299466.8	1.30E+09
Gözlem Sayısı	210	210	210



Tablo 4: Panel Birim Kök Analizi

	EMP	
	Düzye I(0)	
	<i>t</i> istatistiği	<i>p</i> değeri
Levin, Lin & Chu <i>t</i> *	-7.85	0.0000
Im, Pesaran and Shin W-stat	-6.95	0.0000
ADF - Fisher Chi-square	76.17	0.0000
PP - Fisher Chi-square	87.86	0.0000
	INCER	
	Düzye I(0)	
	<i>t</i> istatistiği	<i>p</i> değeri
Levin, Lin & Chu <i>t</i> *	-3.86	0.0001
Im, Pesaran and Shin W-stat	-3.22	0.0006
ADF - Fisher Chi-square	32.71	0.0032
PP - Fisher Chi-square	29.69	0.0084
	FIXIN	
	Düzye I(0)	
	<i>t</i> istatistiği	<i>p</i> değeri
Levin, Lin & Chu <i>t</i> *	-10.37	0.0000
Im, Pesaran and Shin W-stat	-8.46	0.0000
ADF - Fisher Chi-square	96.44	0.0000
PP - Fisher Chi-square	122.53	0.0000

Tablo 4’te sunulan panel birim kök analizi sonuçlarına göre tüm değişkenlerin düzey değerlerinde durağan oldukları saptanmıştır.

Tablo 5: Panel Eşbütünlüşme Testleri

	Pedroni	
	<i>t</i> istatistiği	<i>p</i> değeri
Panel <i>v</i> -Statistic	-0.93	0.8232
Panel rho-Statistic	-4.77	0.0000
Panel PP-Statistic	-8.61	0.0000
Panel ADF-Statistic	-8.34	0.0000
Group rho-Statistic	-4.83	0.0000
Group PP-Statistic	-11.31	0.0000
Group ADF-Statistic	-10.06	0.0000
	Kao	
	<i>t</i> istatistiği	<i>p</i> değeri
ADF	-1.65	0.0496
Residual variance	2153592	
HAC variance	175762.3	

Seriler arasında eşbütünlüşme olup olmadığı Pedroni ve Kao testleri aracılığıyla analiz edilmiştir. Bu çerçevede “ $H_0$ = Seriler arasında eş bütünlüşme yoktur” hipotezi ekseninde Pedroni test sonuçlarına göre ilk istatistik dışında 6 istatistik değeri için sonuç anlamlı çıkmış ve  $H_0$  hipotezi reddedilmiştir. Bu kapsamda Pedroni sonuçlarına göre değişkenler arasında uzun dönemde birlikte hareket etme eğilimi olduğu gözlenmiştir. Benzer şekilde Kao test sonucu da %5 anlam seviyesinde (0,0496) anlamlı çıkmış olup yine seriler arasında bir eş bütünlüşme olduğuna işaret etmektedir.

Sabit etkiler modeli çerçevesinde ulaşılan analiz sonuçları Tablo 6’da sunulmuştur.

Tablo 6: Sabit Etkiler Modeli

Değişkenler	Katsayı	t istatistiği	p değeri
C	437,18	1,68	0,0936
INCER	24,82	6,08	0,0000
FIXIN	0,26	7,07	0,0000
R-squared	0,71		
Durbin-Watson stat	1,64		
F-statistic	62,60		
Prob(F-statistic)	0,0000		

Tablo 6’da sunulan sonuçlara göre modelin anlamlılık düzeyi ( $R^2 = 0,71$ ) olarak bulunmuştur. Bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama gücü %71’dir. Sabit etkiler modeli sonuçlarına göre teşvik belgesi sayısında yaşanacak bir birim artış istihdama yaklaşık 25 kişilik doğrudan katkıda bulunurken sabit yatırım düzeyinde yaşanacak bir birimlik artış kendisinin %26’sı ekseninde istihdamı artırıcı etkide bulunmaktadır.

Rassal etkiler modeline göre analiz sonuçları Tablo7’de sunulmuştur.

Tablo 7: Rassal Etkiler Modeli

Değişkenler	Katsayı	t istatistiği	p değeri
C	198,81	0,62	0,5332
INCER	28,63	7,88	0,0000
FIXIN	0,26	7,11	0,0000
R-squared	0,43		
Durbin-Watson stat	1,57		
F-statistic	76,55		
Prob(F-statistic)	0,0000		

Rassal etki modeli sonuçlarına göre de bağımsız değişkenlerin açıklayıcılığı ( $R^2$ ) 0,43 olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde teşvik belgesi başvurusunun artması istihdama yaklaşık 29 birim katkı sağlarken sabit yatırımların da istihdam üzerinde %26’sı nispetinde etkisi olduğu görülmektedir.

Tablo 8: Hausman Testi Sonuçları

Correlated Random Effects - Hausman Test

Equation: Untitled

Test cross-section random effects

Test Summary	Chi-Sq. Statistic	Chi-Sq. d.f.	Prob.
Cross-section random	4.468904	2	0.1071

P olasılık değeri anlam düzeyi olan 0,05’ten büyük olduğu için  $H_0$  hipotezi reddedilir ve alternatif hipotez  $H_1$  kabul edilir. Bu da rassal etkiler modelinin daha uygun olduğu anlamına gelmektedir.

Tablo 9: Panel Veri Analizi Sonuçları (Kukla Değişkenler Dahil)

	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	-161.7647	240.8378	-0.671675	0.5026
C(2)	24.81565	4.081817	6.079560	0.0000
C(3)	0.261859	0.037061	7.065604	0.0000
C(4)	754.8427	350.8964	2.151184	0.0327
C(5)	1131.827	315.7577	3.584481	0.0004
C(6)	102.6072	339.8524	0.301917	0.7630
C(7)	2026.279	524.5410	3.862956	0.0002
C(8)	414.3422	342.0154	1.211472	0.2271
C(9)	-237.2555	330.3599	-0.718173	0.4735
R-squared	0.713576	Mean dependent var		2351.633
Adjusted R-squared	0.702176	S.D. dependent var		2201.231
S.E. of regression	1201.284	Akaike info criterion		17.06208
Sum squared resid	2.90E+08	Schwarz criterion		17.20553
Log likelihood	-1782.519	Hannan-Quinn criter.		17.12007
F-statistic	62.59446	Durbin-Watson stat		1.644305
Prob(F-statistic)	0.000000			

6 kukla değişken dahil edilerek yapılan panel veri analizi sonuçları Tablo'da sunulmuştur. Bu sonuçlara göre bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenleri açıklama düzeyi %71'dir. F istatistiği değeri dikkate alındığında model bir bütün olarak anlamlıdır. Yapılacak teşvik başvurusu sayısında 1 birimlik artış olması yaklaşık 25 yeni istihdam olanağının doğmasına neden olmaktadır. Diğer taraftan sabit yatırımlarda meydana gelecek 100 milyonluk bir artış da 26 kişiye yeni istihdam olanağı oluşturma anlamına gelmektedir.

## 6. Sonuç ve Değerlendirme

Bir ülkede uygulanan ekonomik teşvikler o ülkenin izlemiş olduğu ekonomi, maliye ve sosyal politikalarıyla çok yakından ilgilidir. Teşvik uygulamaları ilgili politikalar açısından önemli bir araç niteliğindedir. Günümüzde çok geniş bir uygulama alanıyla karşımıza çıkan teşvikler özellikle bölgesel gelişmişlik farklarının arttığı, üretim, istihdam ve büyüme sorunlarının olduğu, işsizlik oranlarının ve dış ticaret açıklarının çoğaldığı kriz dönemlerinde krizlerin olası negatif etkilerini azaltmada önemli bir araç olarak kullanılabilir. Bu yönüyle teşvik politikaları ekonomik krizlerle birlikte ortaya çıkan olumsuzlukların azaltılması ve ulusal-bölgesel-yerel ölçekte sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması açısından oldukça önemlidir.

Günümüzde teşviklerin büyük bir çeşitlilik göstermesinde ülkelerin ekonomik gelişmişlik seviyeleri, bölgelerarası gelişmişlik arasındaki fark, ülkelerin ekonomik, kültürel ve siyasi ilişkileri son derece etkilidir. Bu kapsamda teşvik uygulamaları genel ve bölgesel teşvik uygulamaları, büyük ölçekli yatırımların teşviki ve stratejik yatırımların teşviki şeklinde sınıflandırılabilirler. Ekonomik teşviklerin ulusal, bölgesel ve yerel kalkınma açısından oldukça önem arz ettiği söylenebilir. Ancak uygulanan teşviklerin etkinliğinin ampirik olarak ölçümü yatırımlara ilişkin teşvik sistemi dışında pek çok etkenin de devreye girmesi sebebiyle oldukça zor olmaktadır.

Uluslararası piyasadaki pay alabilmenin diğer bir şartı ülkelerin sahip oldukları teknoloji düzeyidir. Rekabetçi ve yenilikçi bir sanayiye sahip olabilmek için ülkelerin küresel rekabet ortamına uyumlu ve yüksek katma değerli ürünler üretebiliyor olmaları gerekmektedir. Türkiye'nin mevcut yapısı dikkate alındığında teknolojiyi üretmek yerine teknolojiyi tüketen bir yapı karşımıza çıkmaktadır. Ekonomik kalkınma ve uluslararası piyasalardan daha çok pay almanın yolu teknolojiyi üretmekten geçmektedir.

Teşvik politikaları, iktisat politikalarının bir aracı olarak değerlendirilmektedir. Teşvik sisteminin başarılı olabilmesi için ilgili teşvik araçlarının tespiti, araçların hangi alanlara yönelik olarak ne oranda ne kadar süreyle verileceğinin tespit edilmesi son derece önemlidir. Bu araçların etkileri izlenerek etkin olmayan araçlar yenileriyle değiştirilmelidir.

Yatırım teşvikleri; gerekliliği, fayda ve maliyetleri konusunda tartışmalara rağmen modern iktisadın yaklaşık iki yüz yıllık tarihi boyunca, iktisadi büyümenin ve kalkınmanın sağlanması noktasında önem arz eden unsurlardan birisi olmuştur. Yatırım teşvikleri, büyümenin yanı sıra istihdamın ve ihracatın artırılması, bölgeler arasındaki dengesizliklerin giderilmesi, uluslararası rekabet gücünün artırılması vb. amaçlarla, farklı gelişmişlik seviyelerindeki ülkelerin neredeyse tamamınca en çok başvurulan iktisat politikası araçlarından birisi olmuştur.

Sonuç olarak Türkiye'de uygulanan teşvik politikalarından ana hatları itibarıyla yatırım hacminde artış ve ihracat düzeyinin artması ekseninde ekonomik büyüme ve istihdam başta olmak üzere makro değişkenlerde olumlu bir sonuç ortaya çıkarması beklenmektedir. Ancak uygulanan teşvik politikalarının pek çoğu arzu edilen başarıyı yakalayamamıştır. Bu noktada sektörel öncelikler ekseninde planlamaların yapılmasının daha önemli olduğu ön plana çıkmıştır. Özellikle son dönemlerde uygulamaya konan

teşvikler, 2023 hedefleri doğrultusunda önemli bir dönüm noktası teşkil etmektedir. Bu bağlamda yatırım projelerinden beklenen gelir ve istihdam katkıları da somutlaştırılmış olarak ilgili programlarda kendine yer bulmuştur.

Teşviklerin ekonomik açıdan etkileri bağlamında literatürde çok sayıda uygulamalı çalışma yer almaktadır. Teşviklerin etkilerinin ele alındığı çalışmalarda tam anlamıyla bir fikir birliği sağlanabilmiş değildir. Bu çalışmada Türkiye'nin nüfus bakımından önemli bir kısmını barındıran 7 ile ait verilerden yola çıkarak 2012 yılında uygulamaya geçirilen yeni teşvik sisteminin istihdama etkisi incelenmeye çalışılmıştır.

Sonuç olarak kabul edilen teşvik başvurularıyla birlikte teşvikli yatırımlarda meydana gelecek artışların istihdam üzerinde olumlu etkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. 7 il için gerçekleştirilen panel veri eş bütünleşme analizi sonuçlarına göre de teşvikli yatırımlar ile istihdam düzeyi arasında uzun dönemli bir ilişkinin var olduğu saptanmıştır.

## **Kaynakça**

- AKDEVE E. ve KARAGÖL E. T., (2013). Geçmişten Günümüze Türkiye'de Teşvikler ve Ülke Uygulamaları, Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, (37), 341-342.
- ALTUNKAYNAK, B., (2007). Sektörel Panel Veri Analizi Yaklaşımıyla Türkiye'nin AB Ükelerine İmalat Sanayi Bakımından İhracatının Belirlenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 122s.:15,26.
- BALTAGI B.H., (1995). Econometric Analysis Of Panel Data, John Wiley and Sons, New York, 458p.:13.
- BERBEROĞLUGİL, M. Melih (1994). Uygulanan Yatırım Teşvik Tedbirlerinin Etkinliği ve Uluslararası Kurumlar Açısından Değerlendirilmesi, Uzmanlık Tezi, Hazine ve Dış Ticaret Müsteşarlığı, Ankara.
- ÇİLOĞLU İ., (1997). Teşvik Sisteminin Değerlendirilmesi, Hazine Dergisi, 8(10).
- DURMAN M., ve ÖNDER H., (2006). Sanayileşme Sürecinde Teşvikler, Alfa Aktüel Yayınları.
- HSIAO C., (2003). Analysis of Panel Data, Cambridge, Newyork, 366p.: 18.
- JAMES S., (2009). Incentives and Investments: Evidence and Policy Implications. World Bank. <http://documents.worldbank.org/curated/en/945061468326374478/pdf/58816>.
- JENSEN NM Edmund M. ve MATTHEW W., (2015). Competing for Global Capital or Local Voters? The Politics of Business Location Incentives. Public Choice 164(3): 331-356.
- THOMAS K.P., (2000). Competing for Capital: Europe and North America in a Global Era. Washington, DC: Georgetown University Press.
- UĞUR, A., (2009). Hisse Senedi Getirilerinin Panel Veri Analizi ile Tahmini İstanbul Menkul Kıymetler Borsasında Bir İnceleme, Doktora tezi, İnönü Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 266s.:57.
- UNCTAD (2000). Tax Incentives and Foreign Direct Investment A Global Survey, ASIT Advisory Studies No.16, UNCTAD/ITE/IPC/Misc.3, Geneva.



# Titreşime Maruz Kalan İnşaat İşçileri İçin Optimal Emeklilik Yaşı: Türkiye'de Bir Vaka Çalışması

Sadık Alper Yıldız<sup>1</sup>, Mustafa Tolga Çögür<sup>2</sup>, Mehmet Uzun<sup>1</sup>, Kemal Armağan<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karaman, 70000, Turkey

<sup>2</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, 42010, Turkey

(İlk Geliş Tarihi 2 Aralık 2019 ve Kabul Tarihi 31 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.661690)

**ATIF/REFERENCE:** Yıldız, S. A., Çögür, M. T., Uzun, M & Armağan, K. (2019). Titreşime Maruz Kalan İnşaat İşçileri İçin Optimal Emeklilik Yaşı: Türkiye'de Bir Vaka Çalışması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1294-1306.

## Öz

Titreşimler yani; ses dalgaları, belirli bir süre içinde belirli sayıda tekrar eden dalgalardır. Ses dalgalarından farkı, sesin hava yoluyla iletilmesidir, titreşim ise vücutun katı kısımlarını kullanır. Titreşimler, operatörlerin el ve kollarına ve hatta tüm yapılarına bina operasyonlarında kullanılan makine ve ekipmanlardan geçer. Titreşimler birçok rahatsızlığa neden olur. Özellikle inşaat sektöründe, yüksek frekanslı titreşim yayıcı makine ve ekipmanlarda çalışan işçilerde ciddi sağlık sorunları gözlenmektedir. Bu sağlık sorunlarından en yaygın olanı orta ve uzun vadede ciddi mesleki ve bazı sağlık sorunlarına neden olan titreşimli bir sendromdur. Titreşim sendromu hastaları özellikle inşaat işlerinde fonksiyonel, sosyal ve psikolojik sakatlık yaşarlar. Bu nedenle, bu mesleklerin sigortaları ve amortismanları diğer çalışanlardan farklı olmalıdır.

Bu çalışmada inşaat işçilerinin titreşim sendromu risk sınıflamaları yapılmıştır. Sıkı kavanoz açma zorluğu, el kavrama zayıflığı ve parmak rengi değişiklikleri çalışanların genel sorunları arasında öne çıkmaktadır. Ankete göre parmak soğukluğu ve parmak uyuşukluğu daha az ortaya çıkmaktadır. Bu sonuca göre gerekli önlemler ve yasal mevzuat önerileri sunuldu. Titreşime maruz kalan inşaat işçilerinin emeklilik yaşı için Taguchi metoduna dayalı bir optimizasyon yapıldı. İnşaat işçilerinin çalışma sürelerinin analiz sonuçlarına göre yeniden incelenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. İlgili mevzuat, her meslek için önerilen emeklilik yaşı uyarınca güncel tutulabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Titreşim sendromu, çalışma koşulları, inşaat işçileri, sağlık sorunu, optimum emeklilik yaşı, anket çalışması.

## Optimal Retirement Age for Construction Workers Exposed to Vibration: A Case Study in Turkey

### Abstract

Vibrations namely; sound waves are the waves that have a certain number of repetitions in a period. The difference from the sound waves is that the sound is transmitted through the air, while the vibration uses the solid parts of the body. Vibrations pass to operators' hands and arms and even to all their bodies from machinery and equipment used in building operations. Vibrations cause many discomforts. Especially in the construction sector, serious health problems are observed in workers working in high-frequency vibration-emitting machines and equipment. The most common of these health problems is a vibratory syndrome, which causes serious occupational and some health problems in the medium and long term. Vibration syndrome sufferers especially in construction works experience functional, social and psychological disabilities. Hence, the insurances and the depreciation of these occupations must be different from those of other employees.

\* Kemal Armağan: Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karaman, Türkiye, ORCID: 0000-0002-4443-0761, [kemalarmagan@kmu.edu.tr](mailto:kemalarmagan@kmu.edu.tr)



In this study, construction workers' vibration syndrome risk classifications were conducted. Difficulty in tight jar opening, weak hand grip and finger color changes are among the general problems of the employees. According to the questionnaire, finger coldness and finger numbness are less common. According to this results suggestion on necessary precautions and legal legislation were presented. A Taguchi method-based optimization was performed on the retirement age of construction workers exposed to vibration. It is concluded that the working time of construction workers should be re-examined as per the analysis results. Related legislations can be kept up with the date as per the recommended retirement age for each occupation.

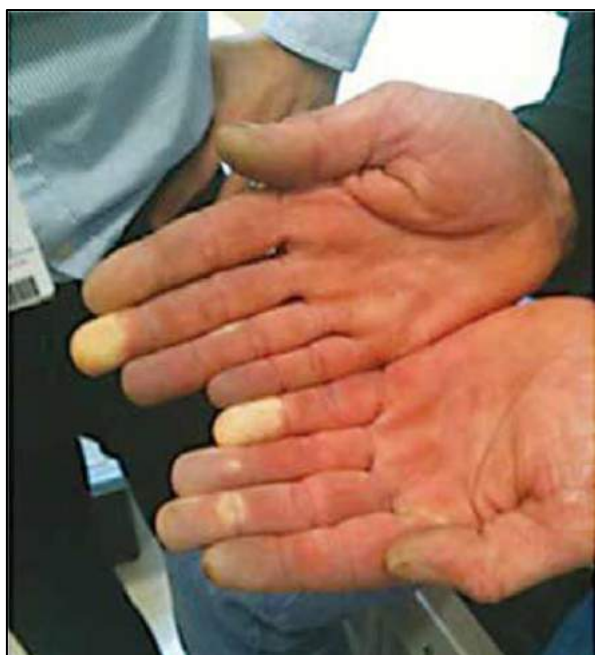
**Keywords:** Vibration syndrome, working conditions, construction workers, health problem, optimum retirement age, questionnaire study.

## 1. Introduction

In recent years, construction projects have increasingly developed into a complex and challenging structure. Construction workers require a variety of skills to achieve the objectives of construction projects within specified time and budget. Even though, health and safety regulations are currently active in many countries including Europe, organizations are ineffective to protect their workers' health and safety (Verra, Benzerga, Jiao, & Ruggeri, 2018). Electrical plate compactor (Misir & Laman, 2017), roller operations, vibrator operations and hand compactor operations are some of the usage areas for the vibration for the compaction of construction materials. And construction workers are often forced to work for a long time using their physical strength to the fullest. Some diseases start to appear in workers who work for a long time in this way. These diseases are Musculoskeletal Disorders (MSDs), Hand-Arm Vibration Syndrome (HAVS) and Noise-Induced Hearing Loss (NIHL)(Handford et al., 2017; R. A. House, Sauvé, & Jiang, 2010; Nath, Akhavian, & Behzadan, 2017; Thompson, Turcot, Youakim, & House, 2011).

Vibration syndrome in the construction industry is a condition associated with the utilization of vibrating tools during the working time. Recent study indicates that workers who are exposed to vibration at great risk of having MSDs of shoulder and neck (Charles, Ma, Burchfiel, & Dong, 2018). In Europe there are millions of workers who face with this problem. Consequently, this disease costs huge amount of money to the employers (Anyfantis & Biska, 2018).

Hand-arm vibration syndrome (HAVS) and Carpal Tunnel Syndrome (CTS) are the disease involving vascular, neurologic and musculoskeletal systems and can also be coexisted together (Falkiner, 2003). HAVS can be the result of using pneumatic and electric building tools such as grinders, drills, jackhammers, chainsaws, which transmit vibration with high frequency to workers' body (Ragnhild Cederlund, Isacson, & Lundborg, 1999). Mining, forestry, and metalworking workers up to 50 % may be affected by HAVS (Handford et al., 2017). In advanced cases, HAVS may cause extremity disability(Ron House et al., 2009; Ronald House, Holness, Taraschuk, & Nisenbaum, 2017; Poole & Mason, 2005). HAVS usually manifest pale and cold hand. The condition is called secondary Raynaud's syndrome. An example of Secondary Raynaud's syndromes effect on a human body is shown in Fig. 1 (Falkiner, 2003). Vascular spasms in secondary Raynaud's syndrome is related to the intensity and duration of vibration exposure (Bovenzi, 2010; Vihlborg, Bryngelsson, Lindgren, Gunnarsson, & Graff, 2017). Early diagnosis and avoidance of HAVS is the critical factor, since advanced disease results in permanent impairment (Kurozawa, Nasu, Hosoda, & Nose, 2002; Pelmeur & Taylor, 2006).



*Fig. 1. Secondary Raynaud's syndrome*

Current researches have been focused on the biomedical perspective such as arm disabilities, shoulder and hand problems (R. Cederlund, et al. 2001; R. House et al., 2012; Ron House et al., 2009; Poole & Mason, 2005; Sauni et al., 2010). The best known and

*Table 1. Vascular symptoms classification according to The Stockholm Workshop Scale*

	0	No symptoms recorded
	V <sub>1</sub>	Symptoms only have impacts on the tips of the distal phalanges of one or more fingers
Vascular Symptoms	V <sub>2</sub>	Symptoms on whiteness of fingers affecting the distal and middle phalanges of one or more fingers (Occasional)
	V <sub>3</sub>	Symptoms on whiteness of fingers affecting the distal and middle phalanges of one or more fingers (Frequent)
	V <sub>4</sub>	V <sub>3</sub> with additional trophic changes
	NS <sub>0</sub>	No symptoms recorded
	NS <sub>1</sub>	sporadic numbness and/or tingling with a sensorineural loss
Neurological Symptoms	NS <sub>3</sub>	sporadic or continuous numbness and/or tingling with reduced sensory perception
	NS <sub>4</sub>	Continuous numbness and/or tingling along with reduced manipulative dexterity

Although there are many studies on HAVS, there is no overall perspective on the effect of HAVS on disability. No information is available on the HAVS impacts on the construction workers in Turkey. This research was conducted in order to contribute to the related studies for addressing symptom management and work safety strategies to minimize the effect of HAVS and similar health problems in Turkey.

## 2. Literature review

According to the literature, there are three existing data collection types widely utilized concerning Vibration syndrome and its effects on workers:

- Self-reported method: workers fill out a questionnaire to identify their risk factors for their jobs. Through this approach, both physical and psychosocial factors are obtained with interviews and surveys such as the Nordic Musculoskeletal Questionnaire and Borg Scale. This approach provides advantages such as low cost and ease of application at the construction site (Borg & Löllgen, 2001; David, 2005; Kuorinka et al., 1987). However, this approach has some disadvantages such as workers' self-reports shows that are often uncertain, unstable (Balogh et al., 2004; Spielholz, Silverstein, Morgan, Checkoway, & Kaufman, 2001).
- Observation method: a job analyst generally observes risk factors on the construction site, and direct observation on construction site or a video recording analyzing is required (Teschke et al., 2009; Valero, Sivanathan, Bosché, & Abdel-Wahab, 2016). Despite being inexpensive and applicable to a wide range of workplace, this approach is disruptive in nature and time-consuming (David, 2005).
- Measurement method: Some measurement tools such as Inertial Measurement Units (IMUs) and Surface Electromyography (SEMG) Sensors are generally attached to workers' body to collect data (Alwasel, Elrayes, Abdel-Rahman, & Haas, 2017; Maxwell Fordjour Antwi-Afari, Li, Yu, & Kong, 2018), but construction workers' body movements of a few muscles can be recorded, and it is difficult to monitor the whole body (D. Chen et al., 2018; J. Chen, Qiu, & Ahn, 2017). Besides, attached sensors can make workers feel unrestful and disturbing while fulfilling their duty (M. F. Antwi-Afari et al., 2017; Maxwell Fordjour Antwi-Afari, Li, Edwards, et al., 2018; Umer, Li, Szeto, & Wong, 2016).

Measurement and Observation method are not preferred in this study due to their high cost and difficulty in application. Hence, the self-reported method was selected in this study.

Taguchi method was used to analyze the questionnaires in this study. Taguchi method is commonly used by experts with the purpose of analyzing experimental results such as compressive strength, flexural strength and sulfate resistance properties (Yildizel & Calis, 2019). In this methodology, the product/process is affected by; environmental factors, and components of the product. The components used to create the product are classified as; controllable and uncontrollable (Turkmen, Gul, & Celik, 2008). The uncontrollable components cannot be intervened by the researcher. Taguchi method seeks the way to get the best result by keeping the uncontrollable parameters the same and tries the different values for the controllable components. The aim of this method is to investigate the interrelations between the variables and the product/result. Based on the data available, the method can optimize the system by using the optimum values for the parameters to get the desired results.

This method enables the research to minimize variability around the investigated parameters while optimizing the performance. As it uses numerous experimental results, it gets a deep view to understand the structure of the system and how the results change. Therefore,

the findings of Taguchi are applicable in the real environment. This method keeps the cost of the experiment at a low level by giving an opportunity to get the optimum result without doing many experiments (Sevinc, Durgun, & Eken, 2017).

There some studies, review the day and night shift conditions of workers, however in this study only day shift workers have been investigated (Kim, 2018).

### 3. Methods

#### 3.1. Survey design

In this paper, vibration syndrome symptoms on construction workers were classified. Interviews were conducted with 175 construction workers including concrete breakers, impact drillers, steel cutters, grinder, roller operator, truck driver, vibrator operator, and hand compactor operator. The questionnaire is given in Table 2. Content validity is applied to determine if these questions are asked to the adequate number of workers. Content validity is the level which determines the sufficient number of construction workers per each occupation in the questionnaire (Gleason, Harris, Sheean, Boushey, & Bruemmer, 2010). Survey results were validated with the Lawshe content validity method. Lawshe content validity ratio is reliable to determine the validity of components and whole questionnaire (Ayre & Scally, 2014). And this method is one of the most accepted methods for content validity determining processes (Barton, Wrieden, & Anderson, 2011). Content validity ration is calculated with the Eq. (1)(Forman & Damschroder, 2007). In this method, 5-10 respondents are considered adequate by some researchers (Gilbert & Prion, 2016); however, other researchers study in various areas such as; health nutrition, economy, academic, family study suggest that using a larger number of samples (minimum n=30)(Markovina et al., 2015).

Table 2. Survey design

1.General information				
Occupation				
Age				
2. Questions				
Health problem	Health Problem Severity (1-4)	Vibration Exposure Time (h per day)	Working Experience (years)	First syndrome diagnosis age
Finger color change				
Finger tingling				
Finger numbness				
Upper limbs problem				
Neck problems				
Hand grip weakness				
Finger coldness				
Difficulty in handling small objects				

$$\text{Lawshe content validity ratio, (CVR)} = \frac{N_1 - (N_2/2)}{(N_2/2)} \tag{1}$$

, where N<sub>1</sub> is the number of respondents who answered the questionnaire for the same occupation, N<sub>2</sub> is the total number of the respondents. According to the validation scale, if CVR is lower than 0.50, it is unacceptable, between 0.50-0.59, it is counted as poor, between 0.60-0.69 is questionable, and 0.70-0.79 is acceptable, higher than 0.80 is evaluated as good (George & Mallery, 2013).

#### 3.2. Taguchi orthogonal array design

Taguchi orthogonal method was utilized to study the optimal retirement age for construction workers, who faced with vibration in their daily working times. A standard L<sub>16</sub> array was proposed to study the effects of three factors at four levels. Health problem severity(H), vibration exposure time (V) and working experience (W) on the same jobs were selected as important factors effecting the retirement age as seen in Table 3. Analysis of variance (ANOVA) was also conducted to determine the most significant factors on the

retirement age optimization. Vascular problems were considered at four levels as 1,2,3 and 4 (Vihlborg et al., 2017) within the health problem severity classification during the optimization. Vibration exposure time and working experience as codified as illustrated in Table 4. Minitab software was used during the analyses. Only 16 average retirement age output was required for the L<sub>16</sub> orthogonal array design (Table 4). Finger numbness was not considered in the optimization studies, since it is a neural disease and its symptoms can be easily confused with other diseases.

*Table 3. Taguchi L<sub>16</sub> orthogonal array factors and their levels.*

Factors	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
Health problem severity	1	2	3	4
Vibration exposure time(hours)	2(0-2)	4(2-4)	6(4-6)	8(6-8)
Working experience (years)	5(0-5)	10(5-10)	15(10-15)	20(15-20)

*Table 4. Taguchi L<sub>16</sub> orthogonal array*

Trial number	Factors and their levels		
	Health problem severity	Vibration exposure time (hours)	Working experience (years)
1	1	2	5
2	1	4	10
3	1	6	15
4	1	8	20
5	2	2	5
6	2	4	10
7	2	6	15
8	2	8	20
9	3	2	5
10	3	4	10
11	3	6	15
12	3	8	20
13	4	2	5
14	4	4	10
15	4	6	15
16	4	8	20

The other parameters that can influence a person’s health condition such as: smoking habit, diet, sleep habit have been excluded in this study. In this respect it should not be considered as a biological study.

## 4. Results and discussion

### 4.1. Survey results

Participant and vibration syndrome symptom quantities are presented in Fig. 2. No female worker was interviewed. 175 construction workers are participated in the questionnaire. Difficulty in opening tight jars, hand grip weakness and finger color changes are the main parts of the general worker answers. Finger coldness and finger numbness are less suffered according to the questionnaire.

Vibration syndrome symptoms were classified according to the worker occupation and given in Fig. 3. Concrete breakers and drillers mostly suffer from finger color change and hand grip weakness. Steel cutters suffer from difficulty in opening tight jars and handling small objects. Main symptoms for grinders were obtained as difficulty in opening tight jars and finger color change. Roller operators suffer from upper limbs problem and finger tingling. Vibrator operators complained about upper limbs problem and neck problems. Hand compactor operators’ main symptoms are finger numbness, finger tingling and finger color change. Truck drivers were obtained as the less vibration effected workers in construction industry; however, they have vibration sourced health problems as neck problems and upper limbs problem.

Vibration syndrome sufferers especially in construction works experience functional, social and phycological disabilities. Only applicable evidences are the disease symptoms and they are presented in Fig. 3.

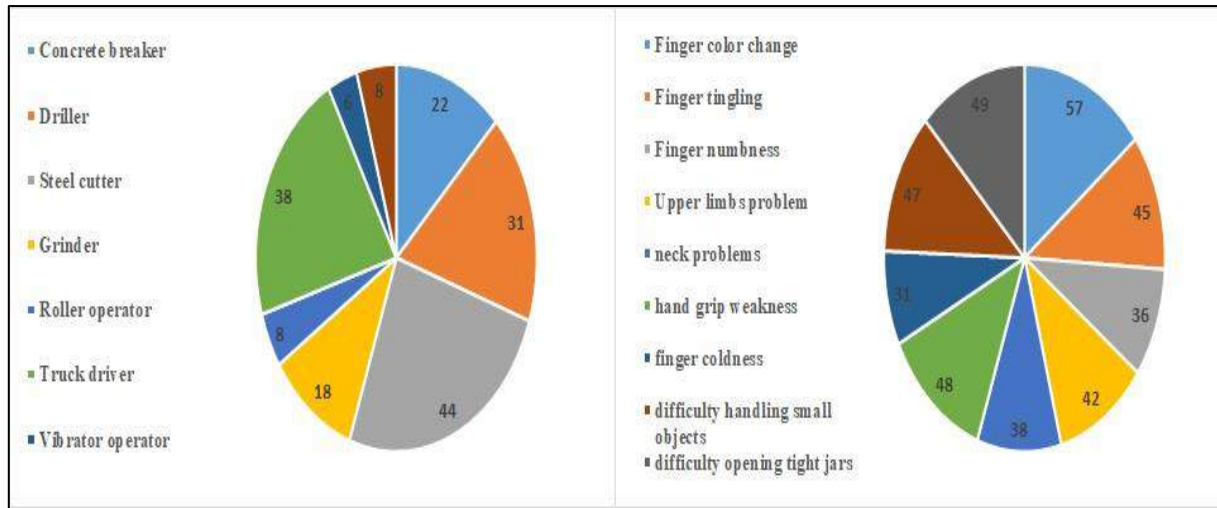


Fig 2. Number of responses and symptom quantities

Severity index analysis result for positive answers are given in Table 5. Mostly suffered symptoms are classified according to their severity index. Finger color change was obtained as mostly suffered symptoms.

Table 5. Severity Index (S.I.) analysis results

Symptoms	S.I. (%)	Rank
Finger color change	77.01	1
Difficulty opening tight jars	71.21	2
Hand grip weakness	65.14	3
Difficulty handling small objects	64.53	4
Finger tingling	63.27	5
Upper limbs problem	59.92	6
Neck problems	57.23	7
Finger numbness	56.77	8
Finger coldness	51.13	9

Table 6. Content validity analyses results

Occupation	Ne	N	N/2	Ne /N	CVR
Concrete breaker	20	22	11	0.91	0.82
Driller	30	31	15.5	0.97	0.94
Steel cutter	43	44	22	0.98	0.95
Grinder	17	18	9	0.94	0.89
Roller operator	8	8	4	1.00	1.00
Truck driver	36	38	19	0.95	0.89
Vibrator operator	6	6	3	1.00	1.00



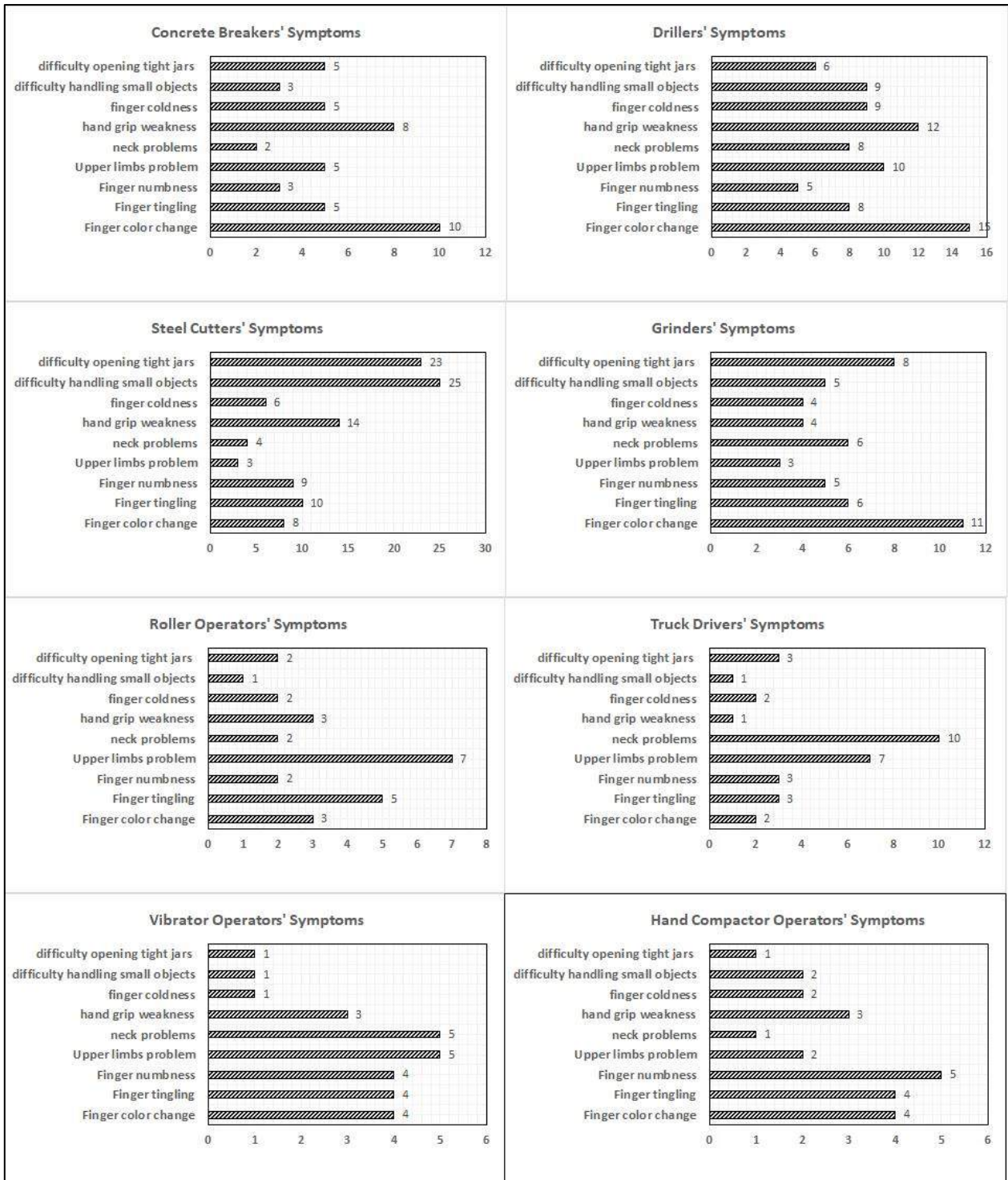


Fig. 3. Symptoms distribution according to the workers occupation

Lawshe content validity results are presented in Table 6. All calculated CVR were found as higher than 0.80. These good results can be contributed to the workers who reported to the survey provided good feedbacks, and the essential number of responses are received.

#### 4.2. Taguchi optimization results

Taguchi retirement age optimization results are given in Fig. 4. The signal to noise ratio represents the quality characteristic transformation, and this ratio as considered as smaller is better to obtain the minimum retirement age. According to the Taguchi design results, optimum conditions for finger color change, finger tingling was  $H_1V_4W_{20}$ . For finger coldness, neck and upper limb problems optimum conditions was obtained as  $H_1V_2W_{20}$ . Analysis results showed that for the handing grip weakness and difficulty in handling

small objects problems optimum conditions was H<sub>2</sub>V<sub>2</sub>W<sub>10</sub>. And the optimum working conditions for difficulty in opening tight jar was H<sub>2</sub>V<sub>4</sub>W<sub>5</sub>.

Table 8 shows the ANOVA results for retirement age and parameters contribution to the analysis. Health problem severity was obtained as the most effecting factor on the retirement age in all analyses since it has F-Value compared to the other factors. Working experience obtained as the second important factor for finger color change, finger tingling, upper limbs problem, neck problem and finger coldness on the optimized ages. However, vibration exposure time was the second most effective factor for difficulty in opening tight jars and hand grip weakness problems. It is known that the vibration exposure time and health problem severity significantly contributed to the progress of the difficulty in opening tight jars and hand grip weakness problems (Bovenzi, 2005; Walker-Bone & Palmer, 2002).

Optimum retirement ages recommendations for every health problem are presented in Table 7.

Table 7. Recommended Retirement Ages according to the Taguchi Design

Health Problem	Recommended retirement age
Finger color change	43
Finger tingling	41
Upper limbs problem	39
Neck problems	41
Hand grip weakness	52
Finger coldness	39
Difficulty in handling small objects	54
Difficulty in opening tight jars	55

Minimum retirement ages were obtained as 39 for finger coldness and upper limbs problem. On the other hand, the maximum retirement age was 55 for difficulty in opening tight jars. Higher vibration exposure rate directly related to the musculoskeletal complaints, especially upper limb problems. Acquired Amputation is one of the treatment methods of advanced musculoskeletal complaints. Employment rates of the worker are slightly lower, on condition that AA is required as a cure (Postema et al., 2016). For this reason, the optimal age for upper limbs problem can be significantly evaluated to prevent these types of job losses. Finger coldness disease is generally treated by preventing the circumstances which cause flare ups (Sakakibara et al., 1988). For construction workers, there is almost no way to stay away from this environment except retirement, since another profession that they can do is very limited. Difficulty in opening tight jars disorder is tolerable compared to the other occupational disease, and the analysis results were obtained in parallel with the literature studies (R. Cederlund et al., 2001; Hua, Lemerle, & Ganghoffer, 2017; Pelmeur & Taylor, 2006).

Table 8. ANOVA results

Finger color change					
Factor	df	Sum of Square (SS)	Adj mean of square (MS)	F-Value	P-Value
Health problem severity	3	167.69	55.90	2	0.216
Vibration exposure time	3	48.69	16.23	0.58	0.649
Working experience	3	113.19	37.73	1.35	0.345
Error	6	167.88	27.98	-	-
Total	15	497.44	-	-	-
Finger tingling					
Factor	df	Sum of Square (SS)	Adj mean of square (MS)	F-Value	P-Value
Health problem severity	3	200.19	66.73	2.40	0.167
Vibration exposure time	3	47.19	15.73	0.57	0.658
Working experience	3	143.19	47.73	1.72	0.262
Error	6	166.88	27.81	-	-
Total	15	557.44	-	-	-

Upper limbs problem					
Factor	df	Sum of Square (SS)	Adj mean of square (MS)	F-Value	P-Value
Health problem severity	3	271.687	90.562	2.04	0.210
Vibration exposure time	3	8.688	2.896	0.07	0.976
Working experience	3	183.688	61.229	1.38	0.337
Error	6	266.875	44.479	-	-
Total	15	730.938	-	-	-
Neck problems					
Factor	df	Sum of Square (SS)	Adj mean of square (MS)	F-Value	P-Value
Health problem severity	3	394	131.333	2.63	0.145
Vibration exposure time	3	16.50	5.50	0.11	0.951
Working experience	3	125.50	41.833	0.84	0.521
Error	6	300	50	-	-
Total	15	836	-	-	-
Hand grip weakness					
Factor	df	Sum of Square (SS)	Adj mean of square (MS)	F-Value	P-Value
Health problem severity	3	310.69	103.563	5.39	0.039
Vibration exposure time	3	52.19	17.396	0.90	0.492
Working experience	3	19.69	6.563	0.34	0.797
Error	6	115.37	19.229	-	-
Total	15	497.94	-	-	-
Finger coldness					
Factor	df	Sum of Square (SS)	Adj mean of square (MS)	F-Value	P-Value
Health problem severity	3	344.19	114.73	5.43	0.038
Vibration exposure time	3	63.69	21.23	1	0.453
Working experience	3	113.69	37.90	1.79	0.249
Error	6	126.88	21.15	-	-
Total	15	648.44	-	-	-
Difficulty in handling small objects					
Factor	df	Sum of Square (SS)	Adj mean of square (MS)	F-Value	P-Value
Health problem severity	3	282.75	94.083	3.69	0.081
Vibration exposure time	3	21.25	7.083	0.28	0.840
Working experience	3	45.25	15.083	0.59	0.643
Error	6	153	25.500	-	-
Total	15	501.75	-	-	-
Difficulty in opening tight jars					
Factor	df	Sum of Square (SS)	Adj mean of square (MS)	F-Value	P-Value
Health problem severity	3	347	124.667	3.78	0.078
Vibration exposure time	3	66.50	22.167	0.67	0.6

Working experience	3	27.50	9.167	0.28	0.84
Error	6	198	33	-	-
Total	15	666	-	-	-

df: Degree of freedom SS: Adj. Sum of square VA: Adj. Mean Square F: F value.

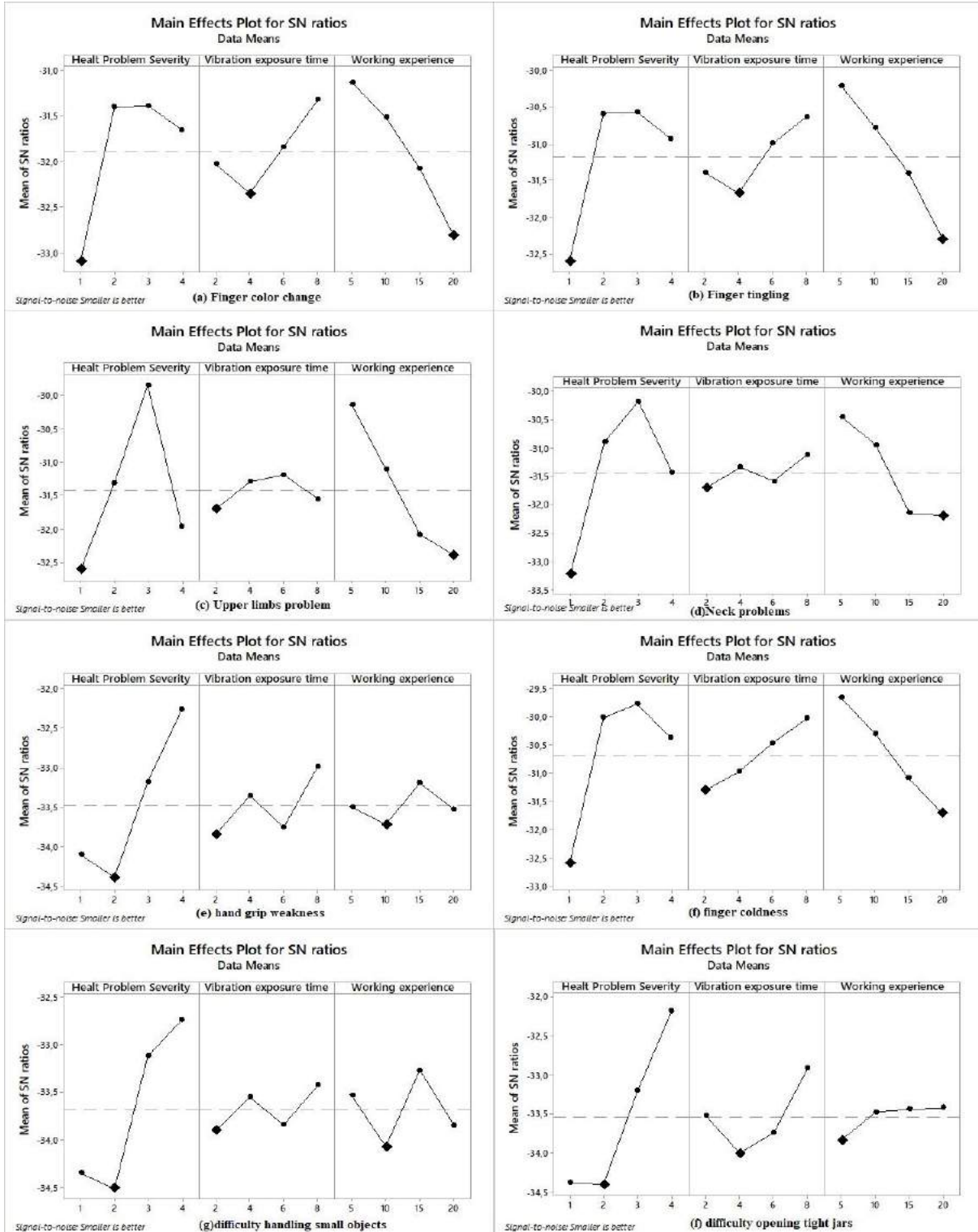


Fig. 4. Taguchi optimization results



## 5. Conclusion

Various symptoms that occur in construction workers who are exposed to vibration due to their daily working activities, have been investigated and the retirement age optimization were also conducted in this research. Following conclusion can be drawn:

- According to the occupational groups of the employees, the working time should be re-examined.
- It is necessary to provide additional wage payments to the employees concerned.
- Work equipment to prevent these diseases should be developed and their usage should be followed regularly.
- Related norms and regulations can be kept up with the date as per the recommended retirement age for each occupation.
- The evaluation has been made based on the statistical data. It is recommended that further investigations might be done by including more parameters and maybe some doctors as well. By doing so deeper view can be obtained.

## Conflict of interest

All authors declare to have no financial or personal relationships that could inappropriately influence the research described.

## Acknowledge

The authors would like to acknowledge to the staffs of the construction companies participated in the survey.

## References

- Alwasel, A., Elrayes, K., Abdel-Rahman, E. M., & Haas, C. (2017). Sensing Construction Work-Related Musculoskeletal Disorders (WMSDs). *28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2011)*. <https://doi.org/10.22260/isarc2011/0027>
- Antwi-Afari, M. F., Li, H., Edwards, D. J., Pärn, E. A., Seo, J., & Wong, A. Y. L. (2017). Biomechanical analysis of risk factors for work-related musculoskeletal disorders during repetitive lifting task in construction workers. *Automation in Construction*. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.07.007>
- Antwi-Afari, Maxwell Fordjour, Li, H., Edwards, D. J., Pärn, E. A., Owusu-Manu, D. G., Seo, J., & Wong, A. Y. L. (2018). Identification of potential biomechanical risk factors for low back disorders during repetitive rebar lifting. *Construction Innovation*. <https://doi.org/10.1108/CI-05-2017-0048>
- Antwi-Afari, Maxwell Fordjour, Li, H., Yu, Y., & Kong, L. (2018). Wearable insole pressure system for automated detection and classification of awkward working postures in construction workers. *Automation in Construction*. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.10.004>
- Anyfantis, I. D., & Biska, A. (2018). Musculoskeletal Disorders Among Greek Physiotherapists: Traditional and Emerging Risk Factors. *Safety and Health at Work*, 9(3), 314–318. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2017.09.003>
- Ayre, C., & Scally, A. J. (2014). Critical values for Lawshe's content validity ratio: Revisiting the original methods of calculation. *Measurement and Evaluation in Counseling and Development*. <https://doi.org/10.1177/0748175613513808>
- Balogh, I., Ørbæk, P., Ohlsson, K., Nordander, C., Unge, J., Winkel, J., & Hansson, G. Å. (2004). Self-assessed and directly measured occupational physical activities - Influence of musculoskeletal complaints, age and gender. *Applied Ergonomics*. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2003.06.001>
- Barton, K. L., Wrieden, W. L., & Anderson, A. S. (2011). Validity and reliability of a short questionnaire for assessing the impact of cooking skills interventions. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*. <https://doi.org/10.1111/j.1365-277X.2011.01180.x>
- Borg, G., & Löllgen, H. (2001). Borg's perceived exertion and pain scales. *Deutsche Zeitschrift Fur Sportmedizin*.
- Bovenzi, M. (2005). Health effects of mechanical vibration. *Giornale Italiano Di Medicina Del Lavoro Ed Ergonomia*.
- Bovenzi, M. (2010). A prospective cohort study of exposure-response relationship for vibration-induced white finger. *Occupational and Environmental Medicine*. <https://doi.org/10.1136/oem.2009.046128>
- Cederlund, R., Nordenskiöld, U., & Lundborg, G. (2001). Hand-arm vibration exposure influences performance of daily activities. *Disability and Rehabilitation*. <https://doi.org/10.1080/09638280010036535>
- Cederlund, Ragnhild, Isacson, Å., & Lundborg, G. (1999). Hand function in workers with hand-arm vibration syndrome. *Journal of Hand Therapy*. [https://doi.org/10.1016/S0894-1130\(99\)80029-5](https://doi.org/10.1016/S0894-1130(99)80029-5)
- Charles, L. E., Ma, C. C., Burchfiel, C. M., & Dong, R. G. (2018). Vibration and Ergonomic Exposures Associated With Musculoskeletal Disorders of the Shoulder and Neck. *Safety and Health at Work*, 9(2), 125–132. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2017.10.003>
- Chen, D., Cai, Y., Cui, J., Chen, J., Jiang, H., & Huang, M. C. (2018). Risk factors identification and visualization for work-related musculoskeletal disorders with wearable and connected gait analytics system and kinect skeleton models. *Smart Health*. <https://doi.org/10.1016/j.smhl.2018.05.003>
- Chen, J., Qiu, J., & Ahn, C. (2017). Construction worker's awkward posture recognition through supervised motion tensor decomposition. *Automation in Construction*. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.01.020>
- David, G. C. (2005). Ergonomic methods for assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders. *Occupational Medicine*. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqi082>
- Falkiner, S. (2003). Diagnosis and treatment of hand-arm vibration syndrome and its relationship to carpal tunnel syndrome. *e-ISSN: 2148-2683*



*Australian Family Physician.*

- Forman, J., & Damschroder, L. (2007). Qualitative Content Analysis. *Advances in Bioethics*. [https://doi.org/10.1016/S1479-3709\(07\)11003-7](https://doi.org/10.1016/S1479-3709(07)11003-7)
- George, D., & Mallery, P. (2013). SPSS for Windows Step by Step: A Simple Guide for Reference 11.0 Update. In *Allyn & Bacon*.
- Gilbert, G. E., & Prion, S. (2016). Making Sense of Methods and Measurement: Lawshe's Content Validity Index. *Clinical Simulation in Nursing*. <https://doi.org/10.1016/j.ecns.2016.08.002>
- Gleason, P. M., Harris, J., Sheean, P. M., Boushey, C. J., & Bruemmer, B. (2010). Publishing Nutrition Research: Validity, Reliability, and Diagnostic Test Assessment in Nutrition-Related Research. *Journal of the American Dietetic Association*. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2009.11.022>
- Handford, M., Lepine, K., Boccia, K., Ruddick, F., Alyeksyeyeva, D., Thompson, A., ... Switzer-McIntyre, S. (2017). Hand-arm vibration syndrome: Workers' experience with functional impairment and disability. *Journal of Hand Therapy*. <https://doi.org/10.1016/j.jht.2016.10.010>
- House, R. A., Sauvé, J. T., & Jiang, D. (2010). Noise-induced hearing loss in construction workers being assessed for hand-arm vibration syndrome. *Canadian Journal of Public Health*.
- House, R., Wills, M., Liss, G., Switzer-McIntyre, S., Lander, L., & Jiang, D. (2012). DASH work module in workers with hand-arm vibration syndrome. *Occupational Medicine*. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqs135>
- House, Ron, Wills, M., Liss, G., Switzer-McIntyre, S., Manno, M., & Lander, L. (2009). Upper extremity disability in workers with hand-arm vibration syndrome. *Occupational Medicine*. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqp016>
- House, Ronald, Holness, L., Taraschuk, I., & Nisenbaum, R. (2017). Infrared thermography in the hands and feet of hand-arm vibration syndrome (HAVS) cases and controls. *International Journal of Industrial Ergonomics*. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2017.01.001>
- Hua, Y., Lemerle, P., & Ganghoffer, J. F. (2017). A two scale modeling and computational framework for vibration-induced Raynaud syndrome. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2017.03.019>
- Kim, J. (2018). The Relationship Between Frequency of Injuries and Workplace Environment in Korea: Focus on Shift Work and Workplace Environmental Factors. *Safety and Health at Work*, 9(4), 421–426. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2018.01.006>
- Kuorinka, I., Jonsson, B., Kilbom, A., Vinterberg, H., Biering-Sørensen, F., Andersson, G., & Jørgensen, K. (1987). Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. *Applied Ergonomics*. [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(87\)90010-X](https://doi.org/10.1016/0003-6870(87)90010-X)
- Kurozawa, Y., Nasu, Y., Hosoda, T., & Nose, T. (2002). Long-term follow-up study on patients with vibration-induced white finger (VWF). *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. <https://doi.org/10.1097/00043764-200212000-00017>
- Markovina, J., Stewart-Knox, B. J., Rankin, A., Gibney, M., de Almeida, M. D. V., Fischer, A., ... Frewer, L. J. (2015). Food4Me study: Validity and reliability of Food Choice Questionnaire in 9 European countries. *Food Quality and Preference*. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2015.05.002>
- Misir, G., & Laman, M. (2017). A modern approach to estimate the bearing capacity of layered soil. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 61(3), 434–446. <https://doi.org/10.3311/PPci.9578>
- Nath, N. D., Akhavian, R., & Behzadan, A. H. (2017). Ergonomic analysis of construction worker's body postures using wearable mobile sensors. *Applied Ergonomics*. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.02.007>
- Pelmeur, P. L., & Taylor, W. (2006). Hand-Arm Vibration Syndrome: Clinical Evaluation and Prevention. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. <https://doi.org/10.1097/00043764-199111000-00010>
- Poole, K., & Mason, H. (2005). Disability in the upper extremity and quality of life in hand-arm vibration syndrome. *Disability and Rehabilitation*. <https://doi.org/10.1080/09638280500164610>
- Postema, S. G., Bongers, R. M., Brouwers, M. A., Burger, H., Norling-Hermansson, L. M., Reneman, M. F., ... van der Sluis, C. K. (2016). Upper Limb Absence: Predictors of Work Participation and Work Productivity. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2015.12.022>
- Sakakibara, H., Akamatsu, Y., Miyao, M., Kondo, T., Furuta, M., Yamada, S., ... Hosokawa, M. (1988). Correlation between vibration-induced white finger and symptoms of upper and lower extremities in vibration syndrome. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. <https://doi.org/10.1007/BF00378475>
- Sauni, R., Virtema, P., Pääkkönen, R., Toppila, E., Pyykkö, I., & Uitti, J. (2010). Quality of life (EQ-5D) and hand-arm vibration syndrome. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. <https://doi.org/10.1007/s00420-009-0441-6>
- Sevinc, A. H., Durgun, M. Y., & Eken, M. (2017). A Taguchi approach for investigating the engineering properties of concretes incorporating barite, colemanite, basaltic pumice and ground blast furnace slag. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.209>
- Spielholz, P., Silverstein, B., Morgan, M., Checkoway, H., & Kaufman, J. (2001). Comparison of self-report, video observation and direct measurement methods for upper extremity musculoskeletal disorder physical risk factors. *Ergonomics*. <https://doi.org/10.1080/00140130118050>
- Teschke, K., Trask, C., Johnson, P., Chow, Y., Village, J., & Koehoorn, M. (2009). Measuring posture for epidemiology: Comparing inclinometry, observations and self-reports. *Ergonomics*. <https://doi.org/10.1080/00140130902912811>
- Thompson, A., Turcot, A., Youakim, S., & House, R. (2011). Compensation of hand-arm vibration syndrome in Canada. *Canadian Acoustics*.
- Turkmen, I., Gul, R., & Celik, C. (2008). A Taguchi approach for investigation of some physical properties of concrete produced from mineral admixtures. *Building and Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.02.005>
- Umer, W., Li, H., Szeto, G. P. Y., & Wong, A. Y. L. (2016). Identification of Biomechanical Risk Factors for the Development of Lower-Back Disorders during Manual Rebar Tying. *Journal of Construction Engineering and Management*.

[https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001208](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001208)

- Valero, E., Sivanathan, A., Bosché, F., & Abdel-Wahab, M. (2016). Musculoskeletal disorders in construction: A review and a novel system for activity tracking with body area network. *Applied Ergonomics*. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.11.020>
- Verra, S. E., Benzerger, A., Jiao, B., & Ruggeri, K. (2018). Health Promotion at Work: A Comparison of Policy and Practice Across Europe. *Safety and Health at Work*, 10(1), 21–29. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2018.07.003>
- Vihlborg, P., Bryngelsson, I. L., Lindgren, B., Gunnarsson, L. G., & Graff, P. (2017). Association between vibration exposure and hand-arm vibration symptoms in a Swedish mechanical industry. *International Journal of Industrial Ergonomics*. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2017.02.010>
- Walker-Bone, K., & Palmer, K. T. (2002). Musculoskeletal disorders in farmers and farm workers. *Occupational Medicine*. <https://doi.org/10.1093/occmed/52.8.441>
- Yildizel, S. A., & Calis, G. (2019). Design and Optimization of Basalt Fiber Added Lightweight Pumice Concrete Using Taguchi Method. *Revista Română de Materiale / Romanian Journal of Materials*, 49(4), 544–553.



# Samsun İlinin Hayvan Gübrelereinden Üretilebilecek Elektrik Enerji Potansiyeli

Hilmi Zenk<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Giresun, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-1653-8580)

(İlk Geliş Tarihi 9 Aralık 2019 ve Kabul Tarihi 31 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.661910)

**ATIF/REFERENCE:** Zenk, H., (2019). Samsun İlinin Hayvan Gübrelereinden Üretilebilecek Elektrik Enerji Potansiyeli. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1307-1312.

## Öz

Biyogaz hayvansal atıklardan anaerobik fermantasyon yöntemiyle elde edilebilen bir gaz karışımıdır. İçerisinde bulunduğu % 55-70 CH<sub>4</sub> gazı sayesinde yanma özelliğine sahiptir. Atıkların bertarafı ve tekrar tekrar üretilmesi açısından yenilenebilir enerji statüsündedir. Bu çalışmada Samsun ilinin hayvan gübresinden üretilebilecek biyogaz ve elektrik enerji potansiyeli hesaplanmıştır. Samsun ili hayvan yetiştiriciliği açısından Türkiye'de 11. sıradadır. Başlıca besi hayvanları sığır, manda, koyun ve keçi'dir. Bu çalışmada hayvan olarak büyükbaş hayvanlardan yıllık toplam 24,934,272.00 m<sup>3</sup> biyogaz ve küçükbaş hayvanlardan yıllık toplam 13,722,840.00 m<sup>3</sup> biyogaz potansiyeli belirlendi. Bu değerlerin karşılık geldiği yıllık elektrik enerji potansiyeli 92,777.00 MWh değerinde bulundu. Bu enerji değeri 2018 yılı için Samsun elektrik enerji tüketiminin % 10.66 'sına karşılık gelir. Aynı zamanda Samsun şehrinin bu hayvansal atıkların metan gazı potansiyeli 2,312,951.00 ton CO<sub>2</sub> gaz emisyonunu azaltmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Biyogaz, Metan, Elektrik enerjisi üretimi.

## The Electric Energy Potential of Samsun City from Animal Manure

### Abstract

Biogas is a gas mixture that can be obtained from animal wastes by anaerobic digestion method. It has burning property thanks to the 55-70% CH<sub>4</sub> gas it contains. It is in the status of renewable energy in terms of ensuring the disposal of wastes and reproducing them. In this study, the biogas and electrical energy potential of the animal manure of Samsun province were calculated. Samsun 11<sup>th</sup> ranks in terms of animal husbandry in Turkey. The main fattening animals are cattle, buffalo, sheep and goats. In this study, bovine (cattle and buffalo) and ovine (sheep and goat) were used as animals. According to the findings obtained from the animal numbers, total annual biogas from bovine animals was found to be 24,934,272.00 m<sup>3</sup> and total annual from cattle was biogas potential 13,722,840.00 m<sup>3</sup>. The annual electrical energy potential corresponding to these values was found to be 92,777.00 MWh. This energy value corresponds to 10.66% of Samsun electricity energy consumption for 2018. At the same time, methane gas potential of these animal wastes of Samsun city reduces 2,312,951.00 tons of CO<sub>2</sub> gas emissions.

**Keywords:** Biogas, Methane, Electric energy production.

\* Sorumlu Yazar: Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Bölümü, Giresun, Türkiye, ORCID: 0000-0002-1653-8580, [hilmi.zenk@giresun.edu.tr](mailto:hilmi.zenk@giresun.edu.tr)

## 1. Introduction

Our country is among the developing countries as in many other countries. One of the basic needs to reach the level of developed countries is to generate our own energy. However, the increasing energy deficit in our country adversely affects the development of the country. Most of the world's energy needs are supplied from natural energy-based fuels and fossil fuels (Ardıç, 2003). However, these fuels are about to run out because they are limited in nature. Since the world's energy demand increases by 5% on average every year and the vast majority of the energy resources used are natural energy resources, the world countries are in search of new energy resources (Akbulut, 2002).

Our country has a great potential in terms of renewable energy sources. Biogas is one of these energies that has a great potential in our country (Kobyta, 1992). Our country's energy needs are rapidly increasing due to rapid economic and industrial development. The energy consumed by our country between 2000 and 2015 is 5 times more than the energy consumed between 2000 and 2010 (Avcıoğlu ve Türker, 2012). This proves that energy consumption is gradually increasing. Therefore, our country should turn to different energy sources. This is an alternative source of biogas to different energy sources. Because, our country has a very convenient and rich source for biogas production.

Biogas; It is an odorless, colorless and flammable gas mixture which can be produced from anaerobic environment from organic wastes of human, animal and plant origin (Metcalf and Eddy, 1972). Biogas is not a pure gas. Contains 55-70% methane (CH<sub>4</sub>), 30-40% carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), 1-5% hydrogen sulfide (H<sub>2</sub>S) and trace amounts of oxygen (O<sub>2</sub>), carbon monoxide (CO), nitrogen (N<sub>2</sub>), hydrogen (H<sub>2</sub>) gases. The thermal value of the biogas is 4700-6000 kcal/m<sup>3</sup> (Şenol, 2019). Biogas is a good fuel type due to its clean energy and thermal properties. Biogas is generally used in lighting, electricity generation, heating, internal combustion engines etc. In fact, biogas engines can be used without any changes in air gas engines. It is similar to natural gas in terms of its properties and components. The electrical energy value of 1 m<sup>3</sup> of biogas is approximately 4.70 kWh (Şenol et al., 2017).

Biogas production for the installation of biogas plants varies according to the intended purpose. Biogas plants also vary according to their capacity. Those with 6-12 m<sup>3</sup> capacity are called family type, those with 50-150 m<sup>3</sup> capacity are called farm type and those with 100-200 m<sup>3</sup> capacity are called village type biogas plant. However, countries such as Germany, Denmark, Sweden and the United States are using industrial biogas plants with a higher capacity of 1,000-10,000 m<sup>3</sup> (Şenol et al., 2018). Biogas production is now widely used in urban wastewater treatment plants and is increasingly used to eliminate organic wastes such as agricultural wastes, animal industry wastes (Haak et al., 2016). During biogas production; many components such as C/N ratio, mixing speed, pH, temperature, loading ratio, toxic substances and residence time in the reactor are effective. The values of these components vary according to the structure of the plant (Çağlayan and Koçer, 2014).

Biogas can be produced from many organic materials as well as from kitchen waste. One of the biggest problems of our country is the lack of recycling of the garbage formed in the Black Sea Region. Therefore, the garbage is dumped into the sea due to lack of storage area. Thus, animal, plant and human health is becoming a very dangerous situation. Thanks to this energy, renewable energy will be obtained and wastes will be evaluated and energy will be obtained. During the production of a new product or a substance, a by-product or a waste material is produced. However, waste produced during biogas production is an organic fertilizer. Another advantage of biogas production is the recovery of the by-product from biogas production as organic fertilizer (Şenol, 2018b). The obtained fertilizer can be applied directly to the field or allowed to dry. One of the major advantages of this fertilizer is the destruction of a large proportion of pathogenic microorganisms during fermentation. This process makes the organic fertilizer to be used approximately 10% more efficient (Bilgili et al., 2011) Biogas can be used as a result of small changes on the lighting, heating, and electricity generation without the need for a special device (Yüksel, 2011). When biogas is mixed with the air at 1/7 ratio, complete combustion occurs (Bilgin, 2010). At the same time, biogas can be used for heating directly in furnaces and ovens, and can work with biogas in water heaters and water heaters. In order for biogas to burn in LPG furnace and water heaters, nozzle diameter should be increased by 2.5-3 times (Afacan, 2008). According to Alçiçek and Demiruluş (1994), the amount of biogas needed for cooking is 0.3 m<sup>3</sup> per person per day. The amount of heat supplied by 1 m<sup>3</sup> of biogas equals 0.62 liters of kerosene, 1.46 kg of charcoal, 3.48 kg of wood, 0.43 kg of butane gas, 12.4 kg of dung, 1.18 m<sup>3</sup> of gas, 1 liter of alcohol, 0.8 liter of gasoline (Afacan, 2008).

Figure 1 shows a standard farm biogas plant. Turkey's biogas potential, in 2017, which corresponds to 12 percent of the 292 billion kWh of electricity consumption. The total electricity generated by the Keban, Karakaya and Atatürk hydroelectric power plants on the Euphrates in 2016 is 16 billion 798 million kWh. Our annual biogas potential is more than twice the electricity generated by these three dams (Şenol and Zenk, 2019).

In biogas research; daily biogas production depending on fermentation type, type of organic matter, fermentation temperature and concentration and type of organic matter per 1 m<sup>3</sup> fermenter volume; It ranges from 0.3 m<sup>3</sup> to 1.2 m<sup>3</sup>. It can be assumed that an average of 0.54 m<sup>3</sup> of biogas can be produced per 1 m<sup>3</sup> of fermenter volume from bovine manure containing 9% dry matter at a fermentation temperature of 36 °C. Considering this value, a biogas plant with a capacity of 25 m<sup>3</sup> will be able to produce 13.5 m<sup>3</sup> per day, 405 m<sup>3</sup> per month and 4860 m<sup>3</sup> per year biogas. These values can be converted to money by multiplying the sales value of natural gas (Üçgül and Akgül, 2010).

The aim of this study is to determine the annual biogas potential of bovine and ovine livestock wastes registered in Samsun province. Then the theoretical electrical energy of these wastes was determined. In this way, the savings in electrical energy needs of Samsun were calculated.





Figure 1. Farm type biogas plant

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Method of Generating Electricity With Biogas and Waste

Energy can be generated from biomass and wastes using many different technologies, either indirectly or via internally storable internal methods. These technologies can be examined in two groups as biological and thermal methods. Biological methods include: thermochemical methods subdivided including fermentation and incineration, gasification and pyrolysis. Approximately 90% of the energy generated from wastes is incinerated worldwide. Direct combustion is a commonly used method for converting waste into energy. Today, many power plants using waste have direct incineration systems. In such plants, the efficiency of the plant increases as the steam temperature and pressure increase (Tezçakar and Can, 2010)

Heat and electricity generation methods using solid biomass and wastes are divided into two groups; Production based on combustion and gasification techniques. Production based on combustion: Chemical in combustion process the energy of converting fuel to heat is transferred to heat, the secondary liquid in the heat exchanger and heat exchanger expands, generating mechanical energy in the turbine or similar system. Production based on gasification: it is reacted at high temperature with a controlled amount of oxygen and/or steam without combustion, and a fuel called syngas is produced (Spliethoff, 2011).

### 2.2. Biogas Potential of Animal Wastes

Cattle and buffalo manure and sheep and goat manure were used in the study of electrical energy potential of animal wastes. According to statistical institutions in Turkey (TUIK), in the province of Samsun, the number of animal belonging to 2018 are given in Table 1 (TUIK, 2019). In 2018, there are a total of 377,792 bovine animals in the province of Samsun, 98,801 of which are culture, 191,510 of which are hybrid and 65,980 of which are domestic. There are a total of 228,714 small ruminants including 204,639 sheep and 24,075 goats.

Table 1. Number of Ovine and Bovine

Animal type	Number of animals (number)
<i>Cattle (culture)</i>	98,801
<i>Cattle (hybrid)</i>	191,510
<i>Cattle (domestic)</i>	65,980
<i>Buffalo</i>	21,520
<i>Total number of bovine</i>	377,792
<i>Sheep</i>	204,639
<i>Goat</i>	24,075
<i>Total number of ovine</i>	228,714
<i>Total number of animals</i>	666,506

In the calculation of the amount of waste, 10-20 kg/day (wet) waste yield for cattle is 5% and 6% of body weight. Likewise, 4-5% body weight per day for sheep and goat can be considered waste (Kaygusuz, 2002). The values given in Table 3 are used to determine the amount of waste that can be obtained from animals. Body weight was taken as 400 kg for cattle and 50 kg for small ruminants.



Daily wet waste as a percentage of body weight was selected as 5% for cattle and 4% for cattle. According to these values, wet amounts in daily amounts are considered as 20 kg for cattle/day and 2 kg/day for small heads. The wet waste amounts of cattle, ovine and poultry are calculated separately, and then these values are determined for the total amount of animal waste for the supplement. In biogas production, TK must have 8-13% feed. If this ratio is much higher, gas output is prevented (Al-Azzam, 2003). Solid ratios are around 5-25% of cattle manure and 30% of sheep manure. If excess water is used during the collection of animal wastes, it can fall to TS up to 2-5%. This makes the system less efficient during heating water due to its high energy consumption (Başçetinçelik, 2007). The amount of waste in animal waste varies according to the size and size of the animal feeding regime as well as climatic conditions. In addition, the amount of waste obtained varies according to the breeding type. If animals are kept tied only at night, the resulting waste should be calculated as 50% of the total waste (Entürk, 2004). The duration of the animals in the stable is 65% for dairy cattle, 25% for beef and 99% for poultry (Acaroglu, 2007). According to these calculations, waste production rate of bovine and ovine is 7.3 and 0.73 tons/year, respectively. Based on these values; 66 m<sup>3</sup>/year biogas from one ton of bovine and 60 m<sup>3</sup>/year biogas from one ton of ovine manure. The methane composition in the biogas was assumed to be 60% (Avcioglu and Türker, 2012).

The total biogas potential of bovines was calculated according to the Eq. 1.

$$BBP = \sum NB_i \times BBY \quad (1)$$

Where BBP is bovine biogas potential (m<sup>3</sup>/ton.year); NB is number of bovine; BBY is bovine biogas yield (66 m<sup>3</sup>/ton.year)

The total biogas potential of ovines was calculated according to the Eq. 2.

$$OBP = \sum NO_i \times OBY \quad (2)$$

Where OBP is ovine biogas potential (m<sup>3</sup>/ton.year); NO is number of ovine; OBY is ovine biogas yield (60 m<sup>3</sup>/ton.year)

According to (Ozer, 2017) 10 kWh is assumed to equal 1 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>. The potential to generate electricity from biogas was calculated according to Eq. (3).

$$e_{biogas} = E_{biogas} \times \eta \quad (3)$$

Where  $e_{biogas}$  is amount of electricity generated (kWh/year); E is biogas unconverted raw energy in biogas (kWh/year) and electricity of biogas;  $\eta$  is the amount may vary depending on the power. In one study, the value of  $e$  value was equal to 40%. In this study, this value was determined to be 0,4.

### 3. Findings and Discussion

Table 2 shows the weight range of bovine and ovine manure, amount of waste produced per day, total solid (TS) and volatile solid (VS) values.

Table 2. Biogas potential by type of animal and waste properties (Avcioglu and Türker, 2012).

Type of animal	Weight (kg)	Wet waste amount (kg)		TS%	VS%
		% of weight	kg/day		
Bovine(cattle and buffalo)	135-800	5-6	10-20	5-25	75-85
Ovine (sheep and goat)	30-75	4-5	2	30	20

Table 3 shows the biogas potential, methane potential and electrical energy potential of Samsun city based on the amount of bovine and ovine. According to the data obtained from TUIK, there are a total of 606,506 animals, including 377,792 bovine and 228,506 ovine in Samsun. The total annual waste amount of these animals is 2,924,842.00 tons. Similarly, biogas and methane potential of these wastes were found to be 38,657,112.00 and 23,194,267.00 m<sup>3</sup>/year, respectively. Total electric energy potential of bovine and ovine fertilizers in Samsun province was found to be 92,777.00 MWh. In 2018, the electricity consumption in Samsun was 870,189.77 MWh. The electric energy potential of bovine and ovine manure meets 10.66% of the city's electricity need. The calculations do not include the installation cost of the biogas plant and the worker expenses at the plant.

Table 3. Annual energy potential of animal manure

Type of animal	Number of animals	Amount of waste (t/year)	Biogas potential (m <sup>3</sup> /year)	Methane potential (m <sup>3</sup> /year)	Electric energy potential (MWh/year)
Bovine(cattle and buffalo)	377,792.00	2,757,881.00	24,934,272.00	14,960,563.00	59,842.00
Ovine (sheep and goat)	228,714.00	166,961.00	13,722,840.00	8,233,704.00	32,935.00
Total	606,506.00	2,924,842.00	38,657,112.00	23,194,267.00	92,777.00

Figure 2 shows the electrical energy potentials according to animal species. The highest electrical energy potential was calculated as 56,436 MWh/year from cattle. The lowest electrical energy potential was found to be 3,406 MWh/year for buffalo. The annual electric energy potentials of sheep and goats were 29,060 and 3,875 MWh/year.

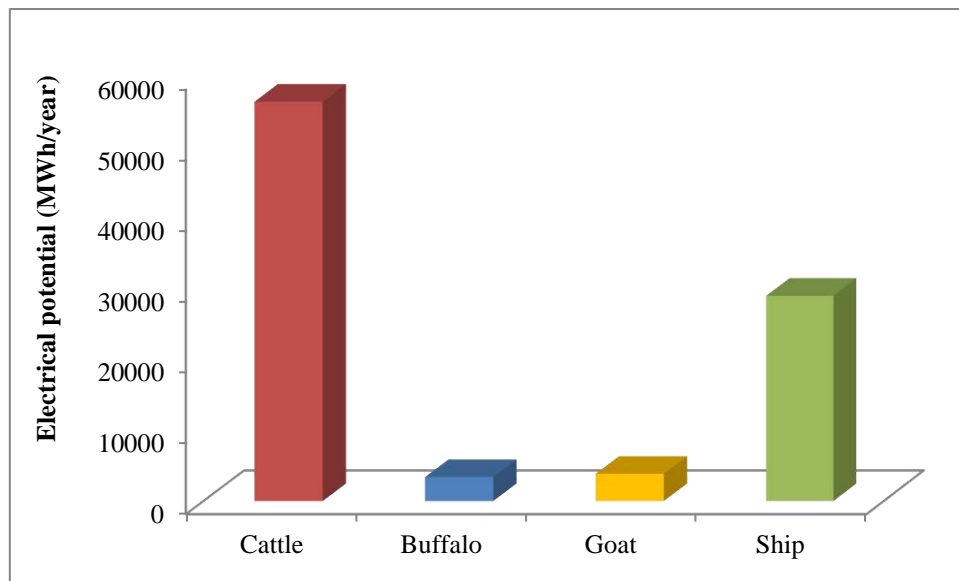


Figure 2. Electric energy potential according to animal species in Samsun

In a study, in 2009 the energy value of animal wastes in Samsun province was found to be 838,175 GJ/year. But poultry manure was also included in this study. This energy value was equal to 232,826 MWh. While the energy potential in 2009 was 232,826 MWh, the potential in 2018 corresponded to 333,997 GJ. The number of animals increases with each passing day as the human population increases and therefore the potential of electric energy increases. Increased animal fertilizers are harmful to nature. The environment is polluting. Therefore, the biological transformation of waste has an environmental approach in addition to providing tremendous energy. 0.107 dollars of electricity energy worth in Turkey for 1 kWh in 2018 (Şenol, 2019). Starting from this value, the energy income that can be obtained from organic wastes of Samsun is 9,927,139 dollars/year. In one study, biogas potential of Ardahan city from animal wastes was determined and 322.6 GW organic waste energy value was determined annually (Ozer, 2017). This corresponds to the CO<sub>2</sub> emission of this energy value 2,312,951 ton. If the findings calculated for Samsun are proportional to these findings; total CO<sub>2</sub> emission rate in Samsun province will fall to 2,394,685 tons of CO<sub>2</sub>. Turkey until 2030, greenhouse gas (GHG) emissions reduction targets of up to 21% (Anonymous, 2015). All activities aimed at reducing greenhouse gas emissions will contribute to this aim. The biogas energy potential, Turkey to reduce CO<sub>2</sub> emissions and will have a good chance to use renewable energy to achieve their aims. In addition, this study can contribute to the goal of increasing renewable energy sources around the world.

When the installed power capacity corresponding to the biogas potentials is compared with the current installed power value, it has been found to be an important potential. Effectively use all the energy resources in Turkey is very important. Obtaining these resources in a renewable and sustainable way is an important factor in reducing material dependence on foreign resources. Biogas-based electricity generation provides an additional advantage as it allows for waste disposal. The planning of electrical power generation systems is based on the principle of knowing the potential values of existing primary sources to meet the estimated load demand and ensure high reliability. Compared to fossil fuel sources, biomass energy is a clean and sustainable energy source with less air emission value, less waste in the environment and reduced dependence on foreign sources (Ozcan et al., 2015).

Combustion of biogas provides hot water and air in cooking stoves. Heat and energy from combustion biogas can also be used in lighting production. The energy produced in biogas plants is generally used directly for city electricity. The main output material obtained from biogas is plant organic fertilizer. These treated fermented fertilizers are free of plant pathogens. Anaerobic fermentation is used to generate and use renewable energy from animal wastes and fermented fertilizer biogas. This will reduce the amount of environmentally hazardous waste and reduce waste management costs (Avcioğlu and Türker, 2012).

## 4. Conclusions

In this study, biogas potential which can be produced from cattle and ovine fertilizers has an important potential for Samsun. The annual biogas potential of cattle and small cattle manure was 38,657,112.00 m<sup>3</sup>. This value corresponds to 92,777.00 MWh of electricity energy annually. In Turkey to reduce the high dependence on foreign energy, Turkey's rich indigenous and renewable energy sources should be used and biomass energy promises to reduce this dependence. Policy makers should define specific targets for biomass for electrical mass systems and provide investors with incentive opportunities.

Considering the climatic conditions and production facilities; low investment costs, high efficiency and easy installation, operation and maintenance for the design of biogas systems will enable the development of biogas technology in Turkey and Samsun.

## References

- Acaroğlu, M. (2007). Alternatif Enerji Kaynakları, Nobel Yayınları, Genişletilmiş 2. Baskı, Ankara.
- Afacan, H., & Kasap, A. (2009). Küçük ölçekli sürekli beslemeli bir biyogaz tesisinin çalışma şartlarının belirlenmesi. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 5(2), 235-240.
- Akbulut, A. (2002). Güneş Enerjili Isı Kontrollü ve Faz Değiştiren Elemanlı Biyogaz Tesisinin Tasarımı, (Master dissertation, Tezi Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü) Elazığ.
- Al-Azzam, S. M. (2003). Biogas a source of energy. Amman: National Energy Research Centre.
- Anonymous. Animal Statistics, TÜİK, 2018.
- Ardıç, İ. (2003). Termal, Kimyasal ve Termokimyasal Önişlemlerin Tavuk Gübresinden Biyogaz Üretim Verimine Etkilerinin Araştırılması, (Master dissertation, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü) Mersin.
- Avcioğlu, A. O., & Türker, U. (2012). Status and potential of biogas energy from animal wastes in Turkey. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(3), 1557-1561.
- Özer, B. (2017). Biogas energy opportunity of Ardahan city of Turkey. Energy, 139, 1144-1152.
- Şenol, H., & Zenk, H. (2019). Biogas Production and Current Purification Methods. 2<sup>nd</sup> International Conference on Agriculture, Technology, Engineering and Sciences (ICATES 2019), Lviv, Ukraine.
- Başçetinçelik, A., Öztürk, H., & Karaca, C. (2007). Türkiye’de tarımsal biyokütleden enerji üretimi olanakları. IV. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Kayseri.
- Bilgili, A.V., Yıldız O., Bilgili, A. (2011). Kompost Tesisi Kurulması Amacına Yönelik Fizibilite Çalışması Projesi Kapsamında Hazırlanan Kompost ve Biyogaz Tesisi Fizibilite Raporu, T.C. Karacadağ Kalkınma Ajansı, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.
- Bilgin, N. (2010). Biyogaz nedir? Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara Araştırma Enstitüsü.
- Çağlayan, G., & Koçer, N. (2014). Muş İlinde Hayvan Potansiyelinin Değerlendirilerek Biyogaz Üretimine Araştırılması. Muş Alparslan Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, 2(1), 215-220.
- Entürk, E. (2004). Tavuk çiftliklerinden kaynaklanan gübre atıklarının incelenmesi ve uygun arıtma sisteminin önerilmesi.
- Splithoff, H. (2010). Power generation from solid fuels. Springer Science & Business Media.
- Haak, L., Roy, R., & Pagilla, K. (2016). Toxicity and biogas production potential of refinery waste sludge for anaerobic digestion. Chemosphere, 144, 1170-1176.
- Kaygusuz, K. (2002). Renewable and sustainable energy use in Turkey: a review. Renewable and sustainable energy reviews, 6(4), 339-366.
- Koby, M. (1992). Sığır Gübresinden Biyogaz Üretimi ve Erzurum Koşulları İçin Bir Biyogaz Tesisi Tasarımı, (Master dissertation, Atatürk Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek lisans Tezi, 68s)Erzurum.
- Tezçakar, M., & Can, O. (2010). Thermal disposal technologies in obtaining energy from wastes. In 2<sup>nd</sup> Waste Technologies Symposium and Exhibition, Istanbul.
- Metcalf, L., Eddy, H. P., & Tchobanoglous, G. (1972). Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse (Vol. 4). NewYork: McGraw-Hill.
- Ozcan, M., Öztürk, S., & Oguz, Y. (2015). Potential evaluation of biomass-based energy sources for Turkey. Engineering Science and Technology, an International Journal, 18(2), 178-184.
- Republic of Turkey, Intended Nationally Determined Contribution (INDC), The INDC of Turkey, 2015.
- Şenol, H. (2018). Investigation of Biogas Production at Different Temperatures from Organic Wastes. TURAN-SAM, 10(40), 118-122.
- Şenol, H. (2019). Biogas potential of hazelnut shells and hazelnut wastes in Giresun City. Biotechnology Reports, 24, e00361.
- Şenol, H., Elibol, E. A., Açikel, Ü., & Şenol, M. (2017). Biyogaz Üretimi İçin Ankara'nın Başlıca Organik Atık Kaynakları. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 6(2), 15-28.
- Üçgül, İ., & Akgül, G. (2010). Biyokütle Teknolojisi. SDÜ Yekarum e-Dergi, 1(1).
- Yüksel, T. (2011). Biyogaz, Güneş ve Toprak Enerjisi Kaynaklı Sera Isıtmasının Araştırılması (Doctoral dissertation, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı) Elazığ.



# Dijital Dokümanlar Üzerinde Otomatik Biçim Tanıma ve Farklı İçeriklere Uyarılama: Özgeçmişler Üzerinde Durum Çalışması

Alper Kantarci<sup>1\*</sup>, Süleyman Eken<sup>2</sup>, Ahmet Sayar<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2456-8648)

<sup>2</sup> Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilişim Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9488-908X)

<sup>3</sup> Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6335-459X)

(İlk Geliş Tarihi 1 Aralık 2019 ve Kabul Tarihi 31 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.661562)

**ATIF/REFERENCE:** Kantarci, A., Eken, S. & Sayar, A. (2019). Dijital Dokümanlar Üzerinde Otomatik Biçim Tanıma ve Farklı İçeriklere Uyarılama: Özgeçmişler Üzerinde Durum Çalışması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1313-1324.

## Öz

Çoğu bilgisayar işleminin merkezinde yer alan toplu kategorizasyona ilişkin olarak bilgi geri çağırma etkileyen iki tür ilgili veri vardır: yapısal veriler ve yapılandırılmamış veriler. Yapılandırılmış veriler, ilişkisel bir veritabanına dahil edilmesi gibi yüksek derecede organizasyona sahip bilgileri ifade eder. Bununla birlikte, yapılandırılmamış veriler kendi iç yapısına sahip olabilir, ancak bir e-tabloya veya veritabanına tam olarak karşılık gelmezler. Özgeçmişler bu tür verilerdir. Genelde PDF (Portable Document Format, Taşınabilir Belge Formatı) formatında sunulan özgeçmişler, PDF etiketleme özelliği kullanılarak yapısal hale getirilebilir; fakat çoğu PDF verisi etiketlenmemiş ve yapısal olmayan haldedir. Teknik olmayan iş dünyası kullanıcıları ve veri analistlerinin bu tür kapalı kutularla başa çıkmaları çok zordur.

Bu çalışma kapsamında, kişilerin özgeçmiş hazırlayarak zamanlarını kaybetmemek ve farklı kabul görmüş formatlarda kişilerin kendi bilgilerine göre kendilerine has özgeçmiş hazırlayabilmesine imkân verecek web tabanlı zeki özgeçmiş tasarımcısı geliştirildi. PDF dokümanlarının içerik yapısı, metin verisi ve bu verinin yazı tipi ve dokümandaki lokasyon bilgileri çıkartıldı ve elde edilen bu bilgiler okuma sırasına göre belirli yapıya dönüştürülerek önceden tanımlanmış olan XML (Extensible Markup Language, Genişletilebilir İşaretleme Dili) tabanlı özgeçmiş tasarımı oluşturuldu. Elde edilen bu tasarımlar kullanılarak kişisel PDF dokümanları oluşturuldu. PDF analizi ve PDF oluşturma işlemi, Java iText-pdf kütüphanesi yardımıyla gerçekleştirildi. Tasarım verileri arayüz aracılığıyla kullanıcıya sunulurken kullanıcı istediği tasarımı kendi dokümanını oluştururken seç ve uygula yaklaşımıyla aktarabilmektedir.

PDF dokümanından elde edilen şablonun XML formatında kaydedilmesi ve farklı içeriklere uyarılama aşamasında, kaydedilmiş hazır XML formatındaki şablonların kullanılması öngörüldü. XML formatındaki şablonların otomatik oluşturulabilmesi ve sonradan doğruluğunun test edilebilmesi için XSD (XML Schema Definition, XML Şeması Tanımı) tanımlandı. Geliştirilen uygulama ile özgeçmişlerin otomatik biçimlerinin tanınması ve farklı içeriklerin adaptasyonu sağlandı.

**Anahtar Kelimeler:** Doküman analiz ve tanıma, PDF, Bilgi çıkarımı, XML, XSD

\* Sorumlu Yazar: Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye (ORCID: 0000-0000-0000-0000), [xxxx@xxx.xx.xx](mailto:xxxx@xxx.xx.xx)

# Automatic Structure Recognition on Digital Documents and Adapting to Different Contents: Case Study on Resumes

## Abstract

With respect to the mass categorization that is central to most computer operations, there are two types of relevant data which affect speed of assimilation as well as information recall: structured data and unstructured data. Structured data refers to information with a high degree of organization, such that inclusion in a relational database. However, unstructured data may have its own internal structure, but does not conform neatly into a spreadsheet or database. CVs (Curriculum vitae) are this kind of data. Typically, CVs presented in PDF format can be structured using the PDF tagging feature, however most PDF data is untagged and unstructured. It is very difficult for non-technical business users and data analysts to deal with such closed boxes.

Within the scope of this study, a web based smart resume designer was developed which will allow people gain time while creating their own resumes according to their own information in different accepted formats. The content structure of the PDF documents, the text data and the font and location information of this data were extracted and the information obtained was converted into certain structures in the order of reading and a predefined XML based resume template was created. Personal PDF documents are created using this template. PDF analysis and PDF creation was done directly by accessing the content stream of the PDF document with the help of the iText-pdf library, which is the Java library. Presentation templates is served to end-user on a desktop applicaiton with a GUI and users can select any metadata to create own document with select-and-apply approach.

It is predicted that the template obtained from the PDF document will be saved in XML format and the templates in the ready-made XML format will be used for adaptation to different contents. The XML schema (XSD-xml schema definition) is defined for the automatic creation of templates in XML format and subsequent testing of their accuracy. With the application developed, automatic forms of resumes were recognized and different contents were adapted.

**Keywords:** Document analysis and recognition, PDF, Information extraction, XML, XSD

## 1. Giriş

İş bulmak için atılacak ilk adım profesyonelce yazılmış bir özgeçmiştir. Özgeçmişinin içeriğini, isim, soy isim (kişisel bilgiler), iletişim bilgileri, eğitim durumu, iş tecrübesi deneyimler, referanslar, özel zevkler gibi konuların özetleri oluşturur. Özgeçmiş doğru, anlaşılır, açık ve kısa olmalıdır ki dikkat çekilebilsin. Etkili bir özgeçmiş hazırlamak için uzmanlar bazı noktalara dikkat edilmesi gerektiğini vurgulamaktalar (Tunçer, 2013). Bunlardan bazıları:

- ◆ Özgeçmiş en fazla 2 sayfa olmalıdır.
- ◆ Uzun paragraflardan kaçınılmalıdır.
- ◆ Genellikle “Times New Roman” veya “Arial” gibi kolay okunabilen karakterler kullanılmalı, 11 ya da 12 punto ile yazılmalıdır.
- ◆ Kelime ve cümlelerin altı çizilmemelidir.
- ◆ Ters kronolojik sıra takip edilmelidir.
- ◆ Gereksiz bilgiler eklemekten kaçınılmalıdır.
- ◆ Takım elbiseli çekilmiş fotoğraflar eklenmelidir.
- ◆ Silik, bulanık, arka planı karışık fotoğraflar eklenmemelidir.

Genel olarak bakıldığında özgeçmiş hazırlamak ince işçilik isteyen bir süreçtir. Bu yüzden hemen özgeçmiş hazırlayıp başvurularda bulunmak yerine zamana yayıp genel geçer kurallara uygun olarak ilgi çekici bir özgeçmiş hazırlamak yapılan başvurulara geri dönüşler almayı epey kolaylaştırmaktadır. Yukarıda listelenen veya uzmanlar tarafından söylenen kriterlerde özgeçmişler hazırlamak özellikle Office programlarını kullanmayı tam bilmeyen kimseler tarafından hem çok sıkıcı hem de çok zaman alan bir süreç olmaktadır. Biz de bu çalışma kapsamında, kişilerin özgeçmiş hazırlayarak zamanlarını kaybetmemek ve farklı kabul görmüş formatlarda kişilerin kendi bilgilerine göre kendilerine has özgeçmişler hazırlayabilmesine imkân verecek web tabanlı zeki özgeçmiş tasarımcısı geliştirdik. Yaptığımız araştırmalara göre literatürde PDF özgeçmiş dokümanlarını kullanarak kullanıcılara özgü yeni özgeçmişlerin hazırlanmasını sağlayan bir çalışmaya rastlamadık.

İşletim sisteminden bağımsız olması nedeniyle, PDF formatı elektronik belgelerin paylaşılması, arşivlenmesi, alınması ve yazdırılması için yaygın olarak kullanılır (Mohamad, Hamdan, Othman, & Mohamad, 2011; Hassan, 2009). Yaygın olarak kullanıldığı alanlar ve faydaları yanı sıra, içerik ve yapı analizi açısından dezavantajlara da sahiptir (Mohamad, Hamdan, Othman, & Mohamad, 2011). Sonuç olarak PDF formatlı dokümanlarda sunulan bilgiler, otomatik olarak okunması ve yeniden kullanılması gibi işlem gerektiren, özgeçmiş gibi karar alma uygulamaları için elverişli değildir (Mohamad, Hamdan, Othman, & Mohamad, 2011). Günümüzde yaygın olarak kullanılmasına rağmen PDF belge içeriği iç yapısı hakkında da bilgi eksikliği var (Liu, Bai, Mitra, & Giles, 2009; Jiang & Yang, 2009). PDF belge yapısını otomatik olarak analiz etme ve tanıma, ilgili bilgilerin çıkarılması ve bu bilgilerin hem yapı hem de anlamsal



biçimlerde ayrıştırılması, paylaşım, bilgi arama, karar verme ve diğer çeşitli amaçlar için büyük önem taşımaktadır (Mohemad, Hamdan, Othman, & Mohamad, 2011). Çoğu PDF belgesi etiketlenmemiştir ve temel üst düzey doküman mantıksal yapısal bilgisine sahip olmadığı için, belgelerin yeniden kullanılması veya değiştirilmesini zorlaştırmaktadır (Chao & Fan, 2004). PDF formatlı özgeçmiş belgelerinin yapı analizi en basit yapıya sahip olanları için bile zorlu bir işlemdir. PDF belgelerini, resim veya HTML'e dönüştürüp sonra OCR (Optical Character Recognition, Optik Karakter Tanıma) vs. gibi tekniklerle işlemek yerine, içeriği doğrudan PDF'ten çıkarmak ve analiz etmek daha kolay ve kesindir (Liu, Bai, Mitra, & Giles, 2009). Bu çalışmada PDF formatındaki CV dokümanlarının tasarım şablonlarının otomatik olarak tanınması, bu şablonların daha sonra kullanılabilirliğini sağlamak amaçlı XML formatına dönüştürülüp kaydedilmesi ve farklı içeriklere uyarlanması gerçekleştirildi. XML formatındaki şablonların otomatik oluşturulabilmesi ve sonradan doğruluğunun test edilebilmesi için önceden XML şeması tasarlandı.

Literatürde direk önerilen konu ile ilgili olmasa da PDF dosyalarının otomatik doküman yapısı çıkarımı, matematiksel dokümanların analizi, nesne seviyesinde analiz, mantıksal yapı keşfi, taranmış PDF dokümanlarının düzen analizi, taranmış sağlık hizmeti belgelerinden bilgi çıkarma ile ilgili farklı çalışmalar vardır. Araştırmacılar tarafından PDF içindeki nesnelere (metinler, görseller vs.) otomatik olarak çıkarılmış elde edilen veriler satır, paragraf ve daha üst seviye mantıksal yapılara gruplandırılmıştır. Bu şekilde yapısal olmayan verilerden mantıksal temsillerin saptanması genel olarak "doküman anlama/yorumlama" şeklinde literatürde yer bulmuştur.

Doküman anlama genellikle taranmış dokümanlar/görüntüler üzerinde yapılmaktadır (Aiello, Monz, Todoran, & Worring, 2002; Altamura, Esposito, & Malerba, 2000; Eken, Atay, Sönmez & Sayar, 2018; Eken, Karabaş, Sarı & Sayar, 2018; Eken ve Sayar, 2013). Proje kapsamında, yapılan çalışmalarda gibi biz de özgeçmiş PDF dokümanlarından isim, soy isim (kişisel bilgiler), iletişim bilgileri, eğitim durumu, iş tecrübesi deneyimler, referanslar, özel zevkler gibi metinsel nesnelere ile kişi görüntüsü gibi görsel nesnelere doküman içindeki konularıyla (düzen) tespit edilmesi ve XML formatında ilgili özgeçmişin ifade edilmesi gerçekleştirildi. Mohemad ve arkadaşları (Mohemad, Hamdan, Othman, & Mohamad, 2011) Microsoft Word 2007 ortamında oluşturulmuş PDF belgelerinin otomatik doküman yapısı çıkarımını, paragraf ve tablo (ya da çizelge halinde olan) yapılara odaklanarak, Java tabanlı ortamda, JPEDAL isimli Java kütüphanesini kullanarak, sezgisel, kural tabanlı ve önceden tanımlanmış göstergeler şeklinde 3 farklı strateji izleyerek gerçekleştirmişlerdir. Hassan (Hassan, 2009) ise görsel prensiplere göre aşağıdan yukarıya (bottom-up) bir kümeleme algoritması önermiştir. Chao ve arkadaşı (Chao & Fan, 2004) PDF belgesindeki mantıksal bileşenleri tanımlayan teknikler geliştirmiş ve bu mantıksal bileşenlerden anahatlar, stil özellikleri ve içerik çıkartıp sonucu XML formatında ifade etmişlerdir. Liu ve arkadaşları (Liu, Bai, Mitra, & Giles, 2009) PDF dokümanlarından metin çıkarma araçlarının ortak karşılaştığı metin sırası probleminin çözümü için iki algoritma önermiş ve algoritmaların performansını karşılaştırmışlardır. Gabdulhakova ve arkadaşı (Gabdulhakova & Tamir, 2012) grafik operatörler tarafından dijital PDF belgelerinde çizilen içeriği analiz etmek için nesne tabanlı bir yöntem sunmuşlardır. Baker ve arkadaşları (Baker, Sexton, Sorge, & Suzuki, 2011) matematiksel metinlerin belge analizi için bir yapısal tanıma için sanal bir bağlantı ağı ile birlikte karakter tanıma (OCR) yaklaşımı ve diğeri düzlem, ifade yapılarını çıkarmak için iki aşamalı ayrıştırıcı ile doğrudan PDF dosyasının sembol bilgisini kullanan iki aşama önermişlerdir.

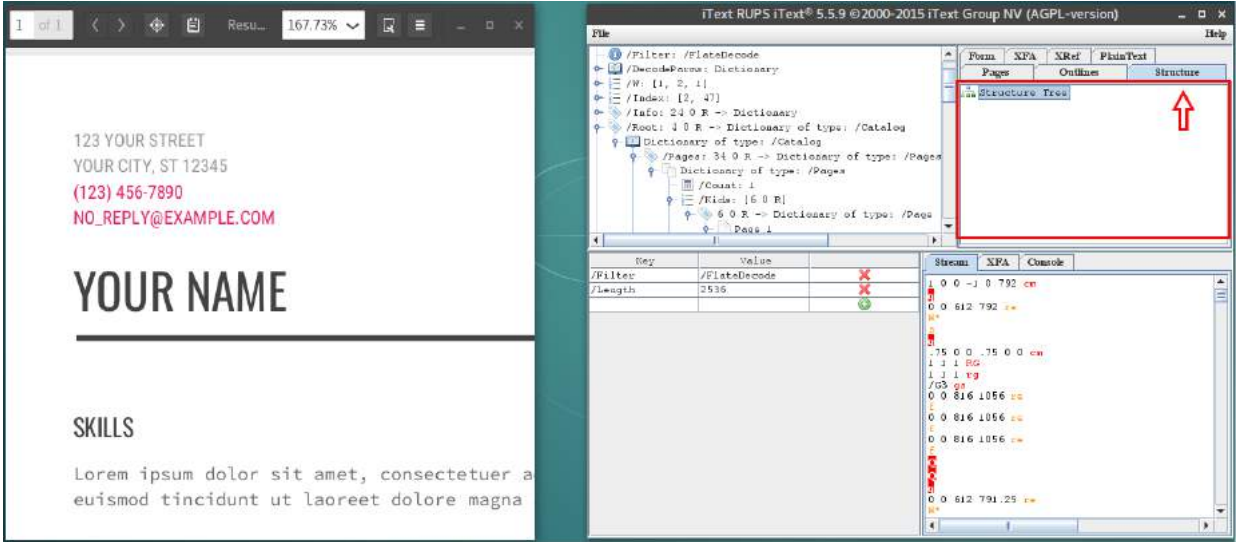
İlgilenilen bir diğer konu da PDF ve XML'in birbirlerine karşılıklı olarak dönüştürülebilmesidir. PDF dokümanlarından XML dokümanlarının elde edilmesindeki amaç indeksleme ve geri getirme yoluyla dokümanlar üzerinde yapılacak bir arama için arama uzayını (search space) daraltmaktır (Eken, Ekinci & Sayar, 2014). Bu tür çalışmalar literatürde "belge özetleme-söylem çıkarımı" olarak geçmektedir. Constantin ve arkadaşları (Constantin, Pettifer, & Voronkov, 2013) bilimsel PDF dokümanları içinde yer alan başlık, yazarlar, özet, yazar dipnot bilgisi, ana metin, alt başlıklar ve metinleri, resim, tablo, referanslar, bibliyografik kısım gibi 18 tane mantıksal elementi çıkarıp XML tag'ları şekline dönüştürebilen PDFX mimarisini önermişlerdir. Daha sonra ground-truth bilgileri var olan veri setleri ile yaptıkları çalışmayı test etmişlerdir. Biz de özgeçmişlerde yer alan yukarıda bahsedilen alanları çıkarıp XML tag'lerine dönüştüren, elde edilen XML şablonları üzerinde edit işlemlerine izin veren daha sonra kullanıcı bilgilerine göre yeniden özgeçmiş PDF dosyalarının oluşturmasını sağlayan bir özgeçmiş tasarımcısı geliştirdik.

## **2. Materyal ve Metot**

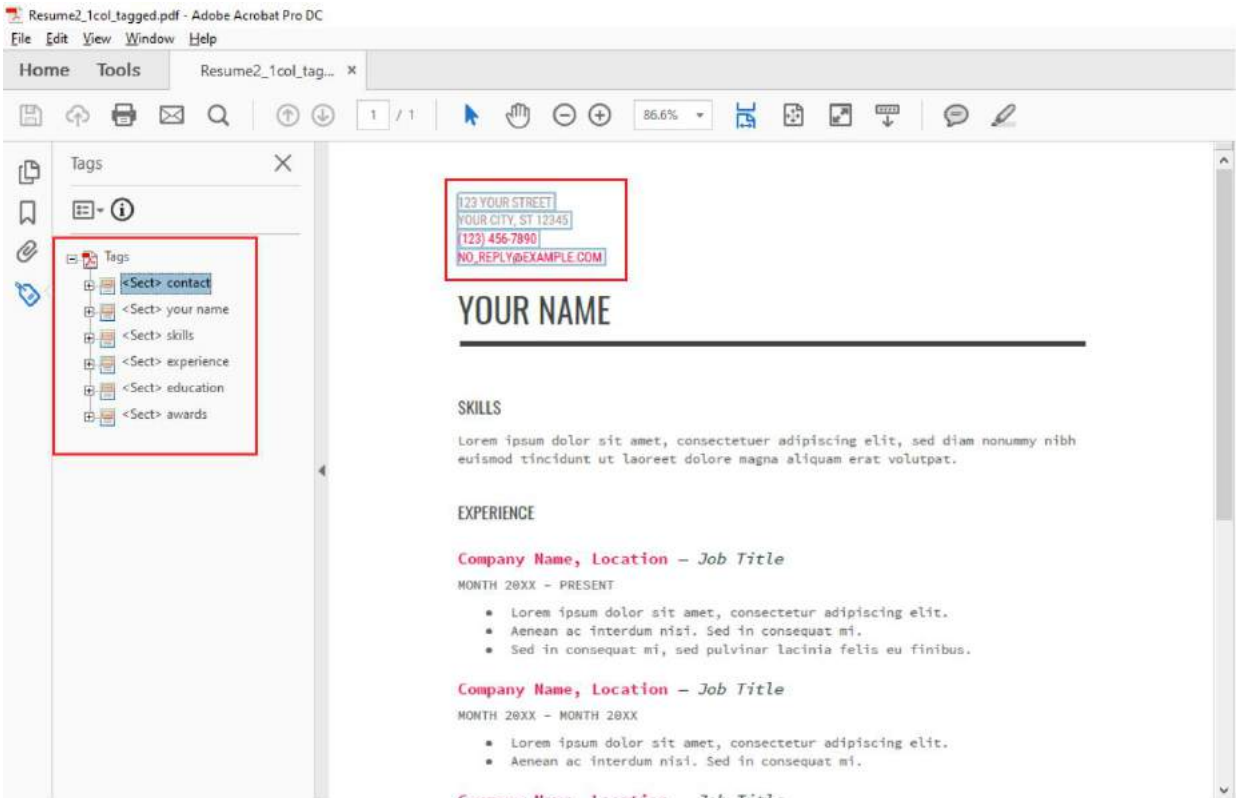
PDF formatındaki CV dosyalarının tasarım şablonlarının otomatik olarak tanınması ve tasarımın farklı içeriklere uyarlanması gerçekleştirildi. Java kütüphanesi olan iText-pdf kullanılarak pdf içeriği tarandı ve şablon oluşturuldu.

Şablonun XML formatında kaydedilmesi ve farklı içeriklere uyarlama aşamasında, kaydedilmiş hazır XML formatındaki şablonların kullanılması öngörüldü. XML formatındaki şablonların otomatik oluşturulabilmesi ve sonradan doğruluğunun test edilebilmesi için XML tanımlandı.

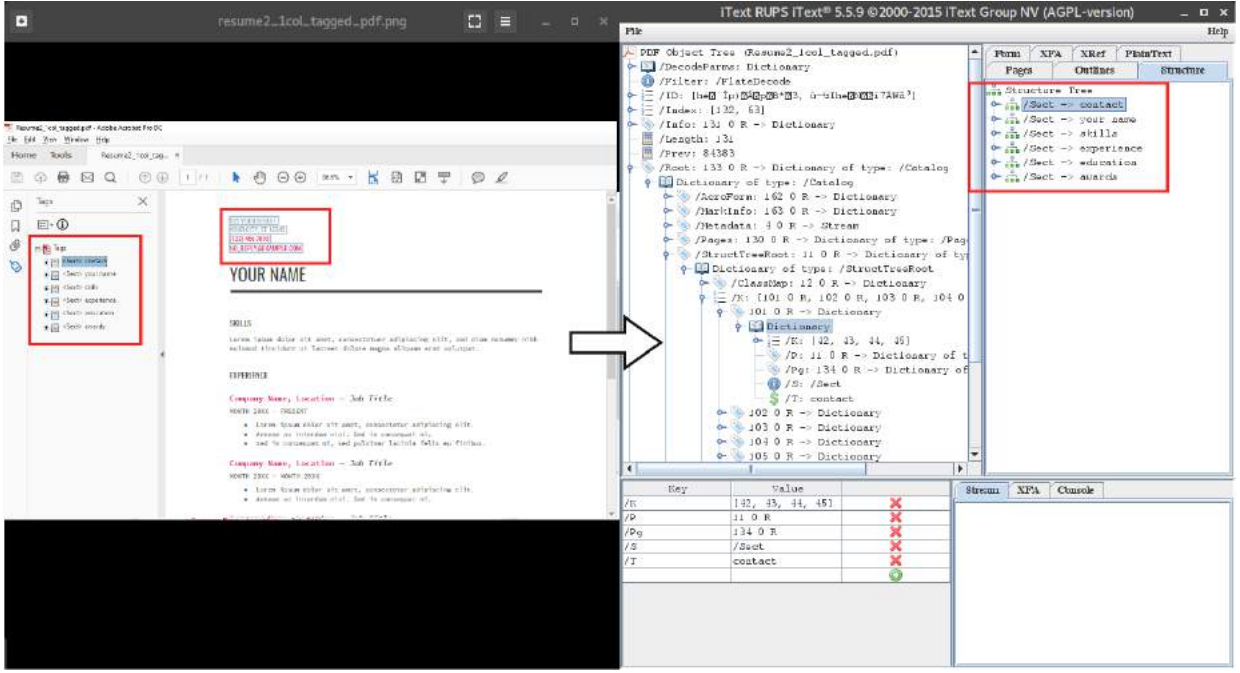
PDF verileri yapısal olmayan verilerdir buna göre bu verilerin tanımlanabilir bir yapısı yoktur. Bu yapıları gereği pdf verilerinin tasarım şablonlarının çıkartılması projede çözülmeye çalışılan problemlerden biridir. PDF verileri etiketleme özelliği kullanarak yapısal hale getirilebilir; fakat genelde çoğu pdf verisi etiketlenmemiş ve yapısal olmayan haldedir. Aşağıda kırmızı işaretli alanda bir PDF inceleme aracı olan iText RUPS uygulaması ile PDF dokümanının yapısı ağaç görünümü ile gösterilmektedir:



Şekil 1. Yapısal olmayan/Taglenmemiş PDF (iText RUPS uygulaması)



Şekil 2. Bir kısmı yapısal hale getirilmiş/Taglenmiş PDF (Adobe Acrobat)



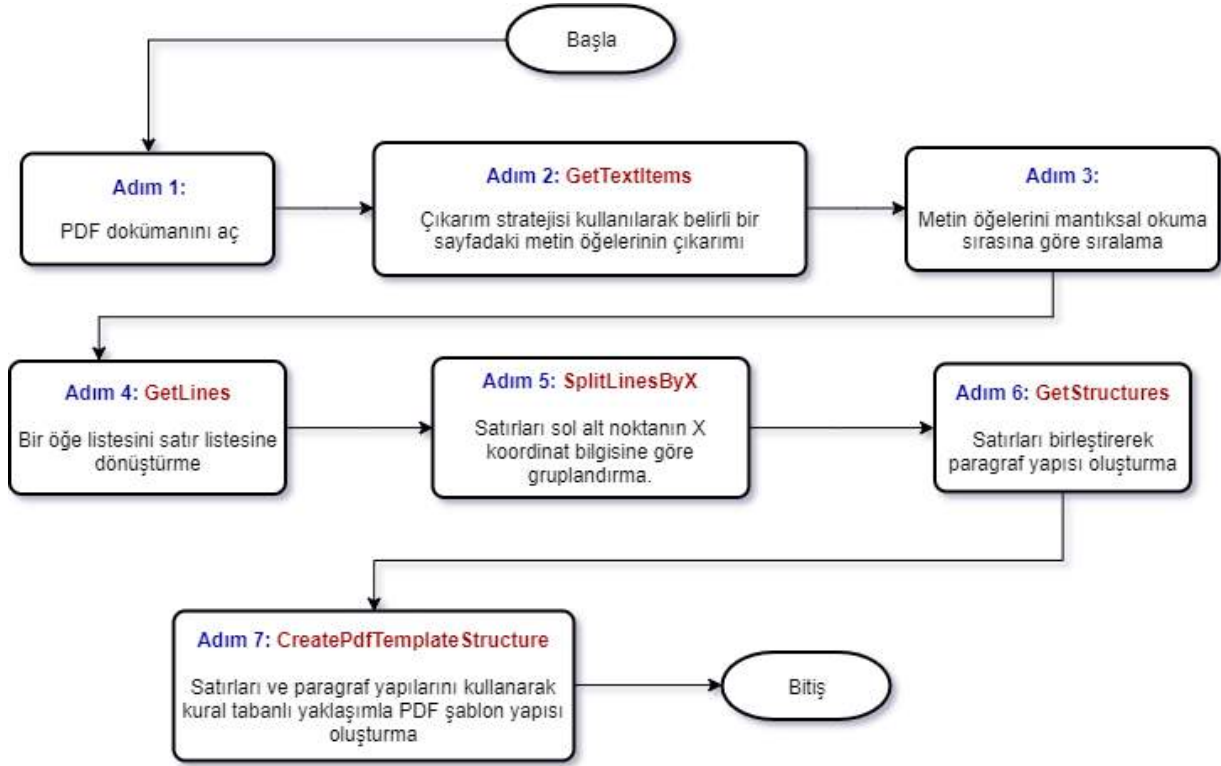
Şekil 3. Bir kısmı yapısal hale getirilmiş/Taglenmiş PDF (iText RUPS uygulaması)

Şekil 1’de görüldüğü gibi yapısal olmayan PDF dokümanlarında bir yapı tanımlanmadığı için iText RUPS uygulamasının Structure sekmesindeki Structure Tree listesi boştur. Bu tür PDF dokümanları bir yapıya sahip olmadığı için, PDF içeriği baştan sona taranarak, doküman içerisindeki öğeler ve öğeler arasındaki ilişkiler analiz edilerek PDF yapısı oluşturulabilir.

Şekil 2 ve Şekil 3’te ise Tagged (taglenmiş, yapısal) PDF yapısı görülmektedir. Bu tür PDF dokümanlarında yapı önceden tanımlandığı için, içerik okuma, değiştirme, tanımlanan yapı yardımıyla çok daha kolay bir şekilde gerçekleştirilebilir.

## 2.1 PDF Şablon Çıkarımı

Şekil 4’te bu çalışmanın genel algoritma akış diagramı gösterildi. Algoritmadaki 1. Adım normal herhangi bir text dosyasını okuma işlemi gibi genel ve basit bir işlem olan PDF dokümanını açma işlemini kapsamaktadır. Algoritmanın asıl önemli, detaylı ve geniş adımlarını kapsayan diğer adımlar yazının devamında alt başlıklar açılarak ve açıklayıcı şekiller ile desteklenerek anlatıldı. Özet olarak ilk önce iText-pdf kütüphanesi yardımıyla PDF dokümanı açıldı. Açılan PDF dokümanının içerisindeki metin öğeleri (bileşenleri) okundu. Okunan metin öğeleri rastgele bir sırada okunabildiği için ve bu bizim işimizde yaramadığı için mantıksal okuma sırasına göre sıralandı. Elde edilen karakter ya da sözcük öğeleri kullanılarak satır yapıları oluşturuldu. Satır yapıları birden fazla sütun yapısına sahip PDF dokümanlarında sütun bazında gruplandı. Elde edilen satır yapıları birleştirilerek paragraf yapıları oluşturuldu. Son olarak elde edilen satır ve paragraf yapıları kullanılarak kural tabanlı yaklaşımla PDF şablon yapısı çıkartıldı (oluşturuldu).



Şekil 4. PDF şablon çıkarım algoritması

### 2.1.1 Metin öğelerinin çıkarımı (Get text items)

Bu aşamada iText-pdf kütüphanesi kullanılarak PDF dokümanı metni tarandı. PDF şablonu metin içerisindeki item (öge) ler ve bunların arasındaki ilişki baz alınarak oluşturulacağı için tüm item ler özellikleriyle beraber taranıp TextItem nesne tipinde oluşturuldu ve List<TextItem> items listesinde tutularak Şekil 4'te gösterilen Adım 3'e girdi olarak gönderildi. Aşağıda Şekil 5'te TextItem nesne yapısı gösterildi.



Şekil 5. TextItem nesne yapısı

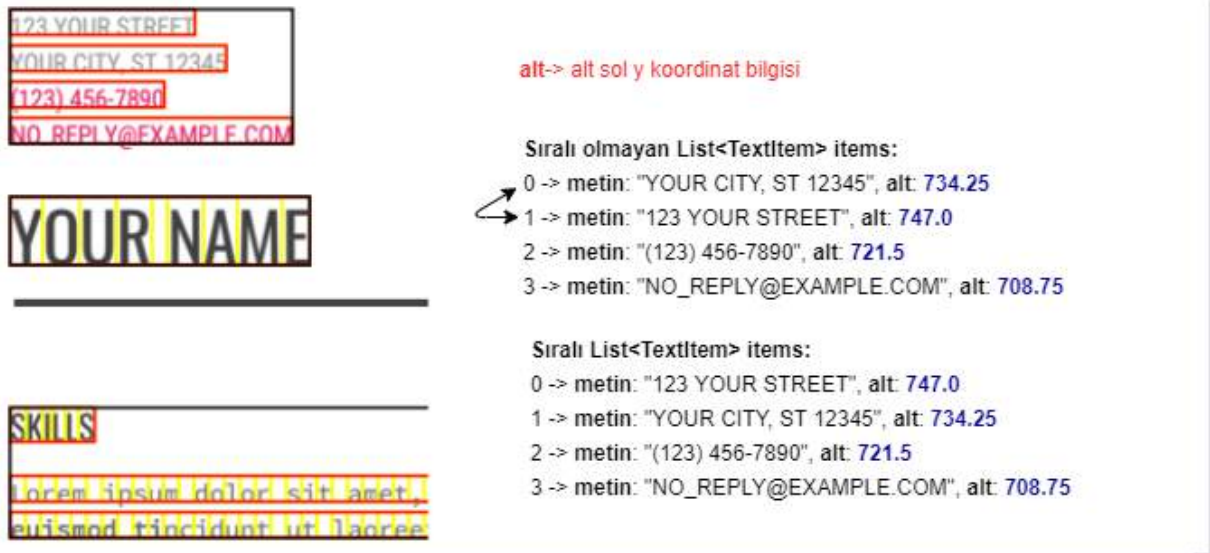


Şekil 6. Dokümandan okunan item ve oluşturulan satır ile paragraf bileşenleri

Şekil 6'da gösterildiği gibi item olarak adlandırdığımız bileşen PDF yapısına bağlı olarak bazen karakter bazen de bir bütün sözcük halinde, iText-pdf kütüphanesinin hazır bir fonksiyonu kullanılarak okundu. Satır ve paragraf bileşenleri ise, okunan item bileşenlerine Şekil 4'teki Adım 4 ve Adım 6'da gösterilen algoritmaların uygulanması sonucu oluşturuldu.

### 2.1.2 Mantıksal okuma sırasına göre sırlama (Sort text items)

iText-pdf kütüphanesi ile PDF içeriği okunurken, PDF dokümanında tanımlı olan Xref tablosundaki bilgilere ve tabloda belirlenen sıraya göre içerik okunuyor. Bu okuma, bir insanın okuması gibi yukarıdan aşağıya doğru bir yönde olmayabiliyor. PDF şablonunu oluşturabilmek için dokümandaki item lerin mantıksal okuma sırasına göre sıralanması önemli. Bu sorunu çözebilmek için Şekil 5'te gösterilen compareTo(TextItem) fonksiyonu tanımlandı. Bu fonksiyon Java'daki Collections.sort() fonksiyonunun TextItem tipindeki bir listeyi sıralarken izleyeceği karşılaştırma ve sıraya dizme kurallarını barındırmaktadır. Aşağıdaki görselde, liste sıralaması yapılırken uygulanan compareTo() karşılaştırması detaylı bir şekilde gösterildi:



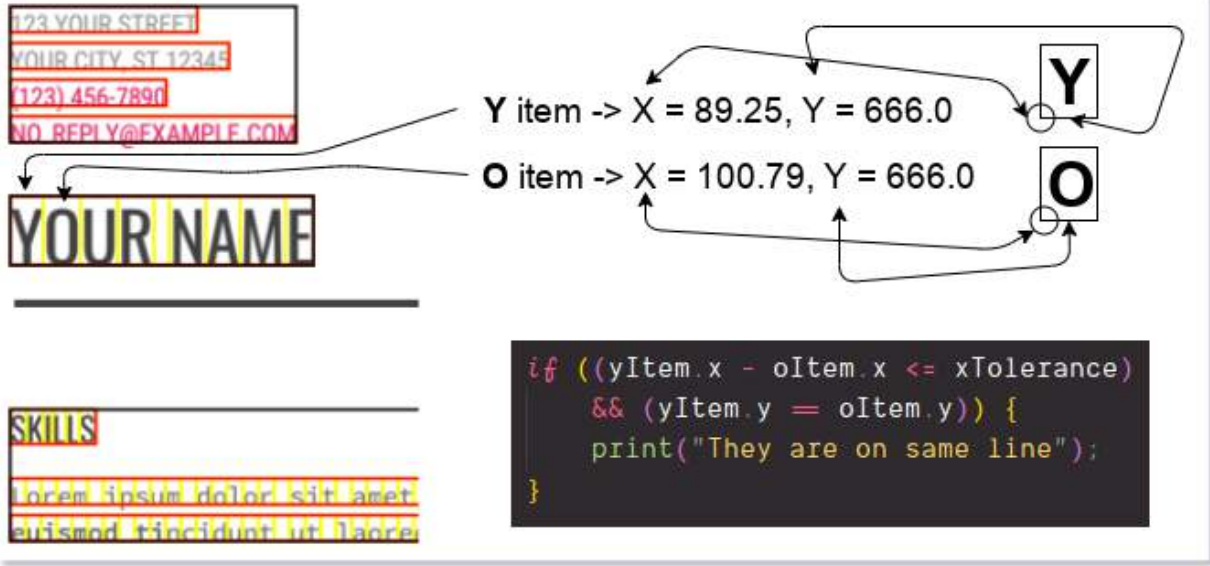
Şekil 7. List<TextItem> items, listesinin sıralanması



Şekil 7’de gösterildiği gibi sıralanmamış items listesinde 0. Eleman’ın sırası, okuma sırasına göre yanlış yerde bulunmaktadır. Sıralama yaparken listenin başından itibaren, her elemanın bottom/alt (elemanı kaplayan dörtgenin alanının alt y koordinatı) değeri bir sonraki ile karşılaştırılarak, bottom değeri yüksek olanın üstte kalacağı şekilde sıralama yapıldı. Görselden görülebileceği gibi sıralanmamış listedeki 0. Eleman, sıralanmış listede 1. Eleman olarak yer değiştirdi ve böylece PDF teki gibi mantıksal okuma sırasına göre bileşenler sıralandı.

### 2.1.3 Öğe listesini satır listesine dönüştürme (Get lines)

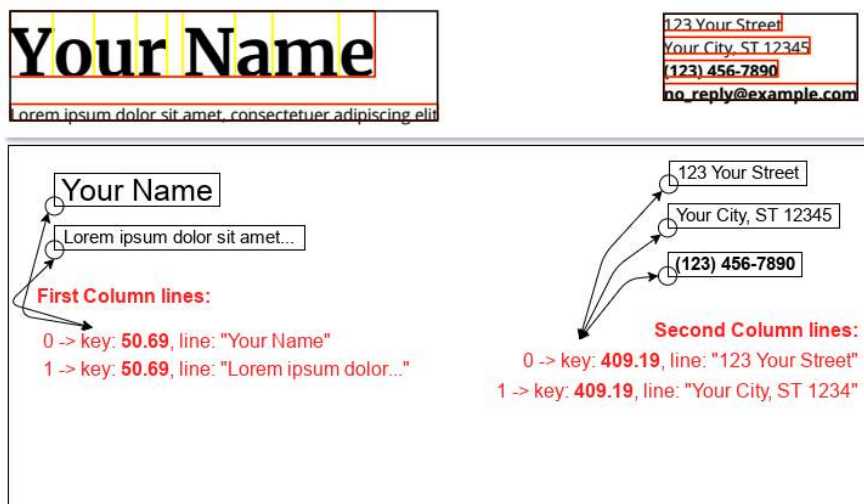
Şekil 6’da kırmızı renkle gösterilen satır bileşenlerini oluşturabilmek için sıralamada olduğu gibi items listesinden sırasıyla ikiye eleman alınarak, bu elemanların aynı Y koordinatı üzerinde ve belirli bir X toleransı aralığında olup olmadığı kontrolü yapıldı. Şekil 8’de, aynı satırda olan item ların belirlenmesi ve line (satır) yapısının oluşturulması, detaylı bir şekilde gösterildi:



Şekil 8. Öğeler aynı satırda mı kontrolünün yapıldığı areOnSameLine() fonksiyonu

### 2.1.4 Birden çok sütunlu PDF dokümanlarında satırları sütun bazında gruplandırmak (Split lines by X coordinate)

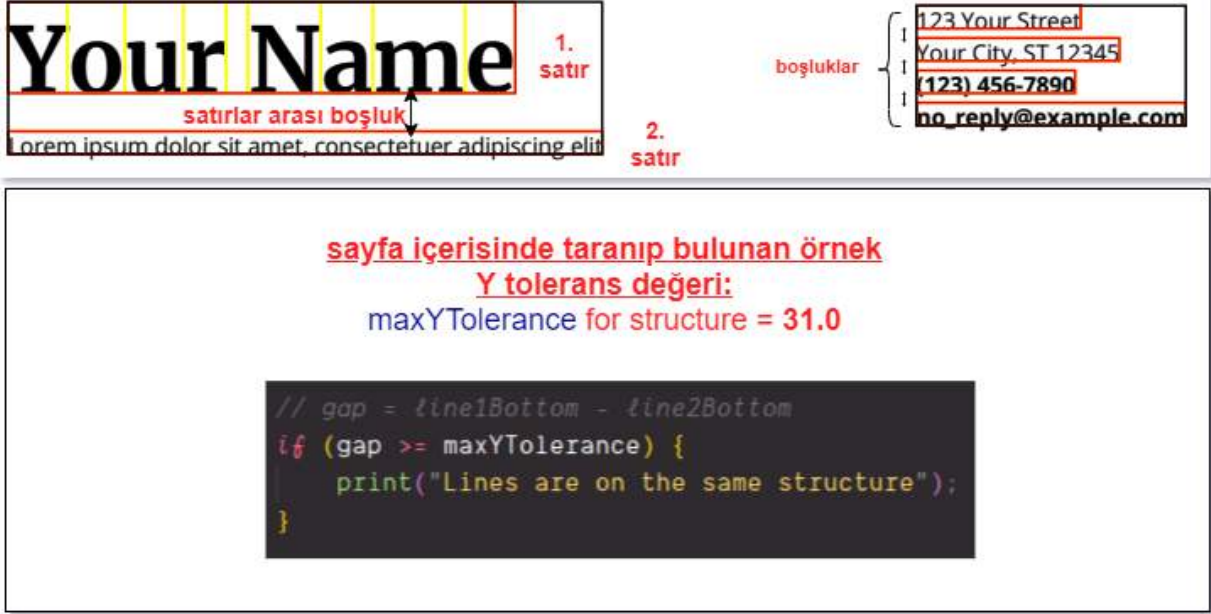
Birden fazla sütunlu PDF dokümanlarında Şekil 4’te gösterilen Adım 4’te oluşturulan satır yapılarının X koordinat değerine göre gruplandırılması gerçekleştirildi ve birden fazla sütuna sahip PDF dokümanlarındaki sütun sayısından kaynaklanan anlamsız veri oluşma problemi çözüldü. Şekil 9’da gruplandırma detaylı bir şekilde gösterildi:



Şekil 9. Satırların sütunlara göre gruplandırılması

### 2.1.5 Satırları birleştirerek paragraf yapılarını oluşturmak (Get structures)

Şekil 6'da siyah renkle gösterilen paragraf bileşenlerini oluşturabilmek için sıralamada olduğu gibi lines listesinden sırasıyla ikişer eleman alınarak, bu elemanların belirli bir Y toleransı aralığında olup olmadığı kontrolü yapıldı. Şekil 10'da, aynı paragrafta (structure da) olan satırların belirlenmesi, detaylı bir şekilde gösterildi:



Şekil 10. Satırlar aynı paragrafa mı ait kontrolünün yapıldığı areInSameStructure() fonksiyonu

### 2.1.6 Önceki adımlarda oluşturulan yapılar kullanılarak PDF şablon yapısının oluşturulması

PDF şablonunu oluşturmak için kural tabanlı yaklaşım izlendi. Bu yaklaşımda önceden belirlenen kurallara göre, PDF dokümanından okunan verilerin içeriklerinin karşılaştırılması ve yapının oluşturulması sağlandı. PDF şemasının kaydedilip farklı içeriklere uyarlanabilmesi için XML veri yapısı kullanıldı. XML dosyasının kolayca oluşturulabilmesi ve doğrulama işlemlerinin gerçekleştirilebilmesi için XML şeması tanımlandı. Kural tabanlı karşılaştırma yapıldıktan sonra XML yapısında PDF şeması oluşturuldu. İleri ki aşamalarda kural veritabanının grafik arayüz ve kullanıcı yardımıyla güncellenmesi ve bu sayede daha geniş bir şablon farklılığına sahip PDF dokümanlarının şablon çıkarımının mümkün kılınması amaçlanmaktadır. Şekil 11'de önceden tanımlanan XML şeması gösterildi:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
<xs:schema xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema">
  <xs:element name="Template">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element name="TemplateItem" maxOccurs="unbounded">
          <xs:complexType>
            <xs:sequence>
              <xs:element name="TagName" type="xs:string"/>
              <xs:element name="TagContent" type="xs:string"/>
              <xs:element name="Font">
                <xs:complexType>
                  <xs:sequence>
                    <xs:element name="FontSize" type="xs:double"/>
                    <xs:element name="FontName" type="xs:string"/>
                    <xs:element name="FontColor" type="xs:string"/>
                  </xs:sequence>
                </xs:complexType>
              </xs:element>
              <xs:element name="Rectangle">
                <xs:complexType>
                  <xs:sequence>
                    <xs:element name="X" type="xs:double"/>
                    <xs:element name="Y" type="xs:double"/>
                  </xs:sequence>
                </xs:complexType>
              </xs:element>
            </xs:sequence>
          </xs:complexType>
        </xs:element>
      </xs:sequence>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
</xs:schema>
```

Şekil 11. Tanımlanan PDF şablonu XML şeması (XSD - xml schema definition)

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes" ?>
<Template>
  <TemplateItem>
    <TagName>phone</TagName>
    <TagContent>(123) 456-7890</TagContent>
    <Font>
      <FontSize>9.0</FontSize>
      <FontName>RobotoCondensed-Regular</FontName>
      <FontColor>(DeviceRgb) r: 233, g: 29, b: 99, hex: #e91d63</FontColor>
    </Font>
    <Rectangle>
      <X>89.25</X>
      <Y>721.5</Y>
    </Rectangle>
  </TemplateItem>
  <TemplateItem>...
  <TemplateItem>...
  <TemplateItem>...
  <TemplateItem>...
  <TemplateItem>...
  <TemplateItem>...
  <TemplateItem>...
  <TemplateItem>...
  </Template>
```

Şekil 12. Oluşturulan PDF şeması

Şekil 12’de <Template> listesi içerisinde birden fazla, kural tabanlı karşılaştırma sonucu seçilen <TemplateItem> bileşenleri gösterildi. Görselde sadece ilk <TemplateItem> elemanı detaylı bir şekilde sunuldu. Kişiyeye özel CV dokümanı oluşturulma aşamasında Şekil 12’de gösterilen XML yapılı PDF şeması kullanıldı.

Bu XML dosyasındaki <TemplateItem> elementleri CV dokümanında belirli metinlerin, PDF dokümanının neresinde ve hangi yazı tipi, yazı boyutu ve yazı rengi yapısında oluşturulması gerektiği bilgisini içermektedir.

<TagName> elementi PDF dokümanında belirli metinlerin ayrımını yapabilmek için ayarlanan etiket ismi ya da etiket id si olarak tanımlandı. Örneğin kişisel CV dokümanı oluştururken ‘telefon numarası’ metnine ait bilgileri XML dosyasından çekebilmek için XML dosyasında TagName’i ‘phone’ olan TemplateItem’ı bulmak ve yazı tipi, lokasyon bilgileri gibi bilgilere ulaşım ordaki bilgileri kullanarak telefon numarasının PDF dokümanında oluşturulması yolu izlendi.

<TagContent> elementi, orjinal CV’ye ait PDF şablonu çıkartma aşamasında oluşturulan herhangi bir yapının metin içeriğini temsil etmektedir. Örneğin orjinal CV dokümanından şablon yapısı çıkartılırken ki ‘telefon numarası’ kısmındaki metnin içeriği olarak özetlenebilir.

<Font> elementi, yine belirli bir metne (yapıya) ait yazı tipi bilgilerini içinde bulundurmaktadır. Aşağıda Font elementi içerisinde tanımlanan diğer elementler ve bilgileri sunuldu.

- <FontSize> elementi, yazı boyutu bilgisini
- <FontName> elementi, yazı tipi bilgisini
- <FontColor> elementi, yazı rengi bilgisini içermektedir.

<Rectangle> elementi, isminin verilme sebebi kullanılan java kütüphanesi PDF dokümanından okunan verilerin lokasyon bilgisini Rectangle isimli nesne yapısında sunmasından kaynaklanmaktadır. Bu element, yine belirli bir metnin (yapının) PDF dokümanının xy düzlemi içerisinde, tam olarak hangi koordinatlarda bulunduğu bilgisini içermektedir. Aşağıda Font elementi içerisinde tanımlanan diğer elementler ve bilgileri sunuldu.

- <X> elementi, bileşenin xy düzlemindeki X koordinatını
- <Y> elementi, bileşenin xy düzlemindeki Y koordinatını teşkil etmektedir.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Yapılan çalışmada PDF içeriği kütüphane yardımıyla, direk doğal PDF yapısı içerisinde okunduğu için, PDF belgelerini, resim veya HTML’e dönüştürüp sonra OCR vs. gibi tekniklerle işlemek yerine, içeriği doğrudan PDF’den çıkarmak ve analiz etmenin daha kolay ve kesin yöntem olduğu sonucu doğrulandı. PDF içerisinde okunup tag lenen öğeler önceden tanımlı kurallar doğrultusunda gerçekleştirildi ki kural veri tabanının grafik bir arayüz yardımıyla kullanıcı tarafından güncellenmesi ile daha geniş çapta PDF şablon türlerinin tanınmasına olanak sağlayabileceği sonucuna varıldı. Ayrıca okunan öğelerin yazı tipi stili meta datası da PDF dokümanından okunabildiği için daha tutarlı bir şekilde kişiyeye özel yeni CV dokümanlarının oluşturulması gerçekleştirildi. Kullanılan Google Font API (Application Programming Interface, Yazılım Programlama Arayüzü)’si yardımıyla orjinal yazı tipi gerçek zamanlı indirilip, yazı tipinde bile bir farklılık oluşturmamaya özen gösterildi.

### 4. Sonuç

İleriki çalışmalarda kural tabanlı yaklaşımın, literatürdeki farklı yaklaşımlar ile birlikte kullanılması, görüntü işleme ve NLP (Doğal dil işleme) teknolojilerinin çalışmaya dahil edilmesi ile çok daha tutarlı şablonların elde edilmesi öngörülmektedir. Yazı tiplerinin çeşitliliğinden dolayı farklı font indirme API’leri dahil edilerek, daha geniş çapta yazı tiplerinin desteklenmesi de gerçekleştirilebilir.

### 5. Teşekkür

Bu çalışma Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından 2018/136 nolu proje kapsamında desteklenmektedir.

## Kaynakça

- Aiello, M., Monz, C., Todoran, L., & Worring, M. (2002). Document Understanding for a Broad Class of Documents. *International Journal on Document Analysis and Recognition*, 5(1), 1-16.
- Altamura, O., Esposito, F., & Malerba, D. (2000). Transforming paper documents into XML format with WISDOM++. *International Journal on Document Analysis and Recognition*, 4(1), 2-17.
- Baker, J. B., Sexton, A. P., Sorge, V., & Suzuki, M. (2011). Comparing Approaches to Mathematical Document Analysis from PDF. *2011 International Conference on Document Analysis and Recognition* (s. 463-467). Beijing: IEEE. doi:10.1109/ICDAR.2011.99
- Chao, H., & Fan, J. (2004). *Layout and Content Extraction for PDF Documents*. doi:10.1007/978-3-540-28640-0\_20
- Constantin, A., Pettifer, S., & Voronkov, A. (2013). PDFX: fully-automated PDF-to-XML conversion of scientific literature. *2013 ACM symposium on Document engineering* (s. 177-180). New York: ACM.
- Eken, S., Atay, B., Sönmez, B. C., & Sayar, A. (2018). DocDig: Dijitalleştirilmiş Dokümanlarda İçerik Tabanlı Figür Arama. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(1), 68-78.
- Eken, S., Ekinci, E., & Sayar, A. (2014). XML Anahtar Kelimeleri Yardımıyla Türkçe Aritmetik Problemlerin Anlaşılması ve Çözülmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2(1), 48-55.
- Eken, S., Karabas, A., Sarı, H., & Sayar, A. (2018). A framework for recognition and animation of chess moves printed on a chess book. *Int. Arab J. Inf. Technol.*, 15(1), 29-36.
- Eken, S., & Sayar, A. (2013). Animating Chess Moves Recorded on Chess Informant. *In Proceedings of the 3rd International Symposium on Computing in Science and Engineering* (pp. 35-40).
- Gabdulhakova, A., & Tamir, H. (2012). Document understanding of graphical content in natively digital PDF documents. *2012 ACM symposium on Document engineering*, (s. 137-140). New York. doi:https://doi.org/10.1145/2361354.2361385
- Hassan, T. (2009). Object-Level Document Analysis of PDF Files. *ACM DL*, 47-55.
- Jiang, D., & Yang, X. (2009). Converting PDF to HTML approach based on text detection. *In Proceedings of the 2nd International Conference on Interaction Sciences: Information Technology, Culture and Human (ICIS '09)* (s. 982-985). New York: ACM. doi:https://doi.org/10.1145/1655925.1656103
- Liu, Y., Bai, K., Mitra, P., & Giles, C. L. (2009). Improving the Table Boundary Detection in PDFs by Fixing the Sequence Error of the Sparse Lines. *10th International Conference on Document Analysis and Recognition* (s. 1006-1010). Barcelona: IEEE.
- Mohamad, R., Hamdan, A. R., Othman, Z. A., & Mohamad, N. M. (2011). Automatic Document Structure Analysis of Structured PDF Files. *IJNCAA*, 404-411.
- Tunçer, M. (2013, April 9). *Özgeçmiş Hazırlama Tüyoları ve CV Örneği*. 12 18, 2019 tarihinde Kariyer.net: <https://www.kariyer.net/kariyer-rehberi/ozgecmis-hazirlama-tuyolari-ve-cv-ornegi/> adresinden alındı





# KNT-Cam Fiber Takviyeli Kompozitlerin Kırılma Tokluğunun Birleşik Bir Güçlendirme Stratejisi ile İyileştirilmesi

Kaan Yıldız<sup>1\*</sup>, İdris Gürkan<sup>2</sup>, Fırat Turgut<sup>3</sup>, Hülya Cebeci<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2670-8619)

<sup>2</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2740-7041)

<sup>3</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9414-2979)

<sup>4</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0264-6484)

(İlk Geliş Tarihi 1 Aralık 2019 ve Kabul Tarihi 31 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.661648)

**ATIF/REFERENCE:** Yıldız, K., Gürkan, İ, Turgut, F & Cebeci, H. (2019). KNT-Cam Fiber Takviyeli Kompozitlerin Kırılma Tokluğunun Birleşik Bir Güçlendirme Stratejisi ile İyileştirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1325-1333.

## Öz

Düzlem-dışı yükleme durumlarında karşılaşılan düşük katmanlararası mekanik özellikler, cam fiber takviyeli kompozitlerin (GFRP) sahip olduğu en büyük kusurlardan biris olarak bilinmektedir. Fiber üzerinde hiyerarşik yapıdaki nano boyutta güçlendiriciler (örneğin: karbon nanotüpler (KNT'ler)), sahip oldukları sıradışı mekanik özellikler ve düşük yoğunlukları sayesinde kompozitlerin katmanlararası özelliklerini geliştirmek için kullanılmaktadır. Bahsedilen bu iyileştirmeler, yapıda herhangi bir ciddi ağırlık artışına sebep olmadan gerçekleştirilebilmektedir. Özellikle, yapısal iyileştirmelerin ağırlık artışından bağımsız olarak yapılması havacılık ve uzay yapıları uygulamalarının bir isteri olup, KNT'lere bu alanda geniş bir araştırma alanı oluşturmaktadır. Yapılan bu çalışmada, KNT-takviyeli GFRP'lerin mekanik özellikleri incelenmiştir. KNT'lerin epoksi matris içerisinde dağıtılması ve cam fiber üzerinde direkt olarak büyütülmesi olmak üzere iki farklı güçlendirme stratejisi ele alınmıştır. Bunlardan ilki cam fiber üzerinde karışık mimaride KNT büyütülmesi (F-GFs) olarak bilinirken, diğeri ise nano-tüp takviyeli kompozitler (NRC) olarak literatürde yer edinmiştir. Bu iki farklı güçlendirme stratejisinin kullanılmasıyla elde edilen kompozitler ise bu çalışmada karışık nano-takviyeli kompozitler (F-NRC) olarak ele alınmıştır. Bu çalışmanın odak noktası olarak F-GF ve F-NRC'ler seçilmiştir ve güçlendirme stratejilerinin potansiyeli laboratuvar ölçütlerinde deneysel olarak incelenmiştir. Üretilen kompozitlerin fiberleri üzerindeki hiyerarşik KNT yapılanması taramalı elektron mikroskopisi (SEM) ile gözlenmiştir. Ayrıca, Raman spektroskopisi ve termogravimetrik analiz (TGA) ile KNT'lerin kalitesi ve ısıl kararlılığı araştırılmıştır. Kompozitlerin mekanik özellikleri ise Mod-I kırılma tokluğu testi ve tek yönlü kompozit çekme testi ile karakterize edilmiştir. Her ne kadar F-NRC'lerin kırılma tokluğunda %150'lik iyileştirmeler gözlenmiş olsa da çekme dayanımında, cam fiberlerin KNT üretimi sırasında maruz kalınan ısıl işlemin sonucu olarak %25'lik azalma elde tespit edilmiştir. Mekanik testler sonucunda elde edilen bulgular, yukarıda belirtilen karakterizasyon çalışmalarından çıkarılan sonuçlar ile desteklenmektedir. (Minimum 250 – Maksimum 400 kelime ve içeriğinde amaç, materyal-metot, bulgular ve sonuç kısımlarını içerecek şekilde yazılmalıdır.)

**Anahtar Kelimeler:** karbon nanotüp, karışık fiber, cam/epoksi kompozit, kırılma tokluğu

## Fracture Toughness Enhancement of Fuzzy CNT-Glass Fiber Reinforced Composites with a Combined Reinforcing Strategy

### Abstract

Low interlaminar mechanical properties is the foremost drawback of glass fiber reinforced composites (GFRPs). Hierarchical nanoparticles on fibers (e.g. carbon nanotubes (CNTs)) can improve interlaminar properties of composites with negligible weight

\* Sorumlu Yazar: İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0002-2670-8619, [yildizkaa@gmail.com](mailto:yildizkaa@gmail.com)

increase because of excellent mechanical properties, and low density. Interlaminar properties of composites can be enhanced with the well-dispersed CNTs in polymer matrices as it facilitates load transfer from matrix to fibers. Particularly, structural improvements with no significant weight increase are highly desirable in the aerospace industry and therefore CNTs offer a wide and interesting research area. This paper investigates the mechanical properties of CNT-reinforced GFRPs. Two reinforcing strategies were studied as dispersion of CNTs in epoxy matrix and direct growth of CNTs onto glass fibers (GFs), simultaneously. The former is referred to as nanotube-reinforced composites (NRCs) while the latter is known as fuzzy architectures. Furthermore, the combination of NRCs and fuzzy glass fibers (F-GFs), also known as fuzzy nano-reinforced composites (F-NRCs), is used to fabricate composites and identify the reinforcing capabilities through both methods. In this study, the focus is given to F-GFs and F-NRCs, and the potential of these reinforcing strategies are evaluated through experimental studies. The morphology of the fabricated composite specimens is characterized using scanning electron microscopy (SEM) to observe the hierarchical CNT structures on the fibers. Additionally, Raman Spectroscopy and thermogravimetric analyses (TGA) are conducted to evaluate the quality and the thermal stability of the samples. Mechanical properties are investigated by Mode-I fracture toughness and unidirectional (UD) composite tensile tests. Even though F-NRCs yield 150% improvement in the fracture toughness compared to baseline samples, the tensile strength of F-NRCs is found to be decreasing by 25% due to heat treatment during the CNT synthesis.

(Minimum 250 - Maximum of 400 words and content should be written in a way to include material, method, findings and results.)

**Keywords:** carbon nanotubes, fuzzy fiber, glass/epoxy composites, fracture toughness

## 1. Giriş

Fiber-takviyeli polimerler (FRP) havacılık ve uzay yapılarında birincil ve ikincil yapılar olarak sıklıkça kullanılmaktadırlar. Her ne kadar özgül dayanım ve katlıkları dikkate değer olsa da kalınlık boyunca sahip oldukları zayıf mekanik özellikler katmanlar arasında ayrılma çatlakları oluşmasına ve sonuç olarak da düzlem dışı yükler altında düşük kırılma tokluğuna sebebiyet vermektedir. Düşük kırılma tokluğunun en büyük sebepleri kalınlık boyunca takviye elemanlarının olmaması ve katmanlar arasındaki reçine miktarı fazla olan bölgede ayrılma çatlaklarının başlaması ve hızlıca yayılmasıdır. Bu bahsedilen problemler ışığında, yüksek kırılma tokluğuna sahip kuvvetlendirilmiş kompozitlerin geliştirilmesi için karbon nanotüpler (KNT'ler) gibi nanomalzemelerin kullanımı gündeme gelmiştir. KNT'lerin FRP'lere katkısı yüzey modifikasyonu (Domun vd., 2015; Gojny vd., 2004; Gojny vd., 2005; Kepple vd., 2008; Sadeghian vd., 2006; Storek vd., 2011; Veedu vd., 2006; Wicks vd., 2010; Wicks vd., 2014), arakatman kuvvetlendirmesi (Arai vd., 2008; Bilisik & Sapanci, 2019; Falzon vd., 2013; Kaynan vd., 2018; Lee vd., 2002) ve matris kuvvetlendirmesi (Ashrafi vd., 2011; Godara vd., 2009; Karapappas vd., 2009; Yokozeki vd., 2007) gibi farklı yöntemlerle incelenmiş ve sonuçlar kırılma tokluklarında artışlar ortaya koymuştur.

Karbon fiber takviyeli kompozitler (CFRP) sahip oldukları yüksek dayanım-ağırlık oranları sebebiyle havacılık ve uzay endüstrisinde oldukça rağbet gören malzemelerdir (Mallick, 2007). Yine de, cam fiber takviyeli kompozitlerin (GFRP) düşük maliyet, yüksek korozyon ve yorulma dayanımı (Harris, 1999; Mallick, 2007) gibi sebeplerle havacılık ve uzay endüstrisi yanında başka sektörlerde de daha uygun oldukları belirtilmektedir. Kalınlık yönündeki mekanik özellikler daha çok matris özelliklerinden tarafından etkilendiklerinden dolayı, KNT yardımıyla matris kuvvetlendirme stratejileri ilgi çekmektedir. Kuvvetlendirme, epoksi matris içerisinde KNT dağıtılması ile sağlanabilmektedir ve sonuç olarak çekme dayanımı, Young modülü ve kırılma tokluk değerlerinde iyileştirilmeler elde edilmektedir (Cha vd., 2017; Domun vd., 2015). Gojny vd. (Gojny vd., 2004) çift duvarlı KNT'lerin (DWCNT) epoksi matris içerisinde dağıtılması ile kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin nasıl değiştiğini incelemiş ve kırılma tokluklarında ~%26'lık bir artış raporlamıştır. Taramalı elektron mikroskop (SEM) ile elde edilmiş bir çatlakın görüntüsünün incelenmesi sonucu KNT'lerin çatlakların farklı kenarları arasında oluşturmuş olduğu köprü mekanizması açıkça görülmekte ve KNT dağıtılması ile ortaya çıkan kuvvetlendirmeye açıklama getirilmektedir.

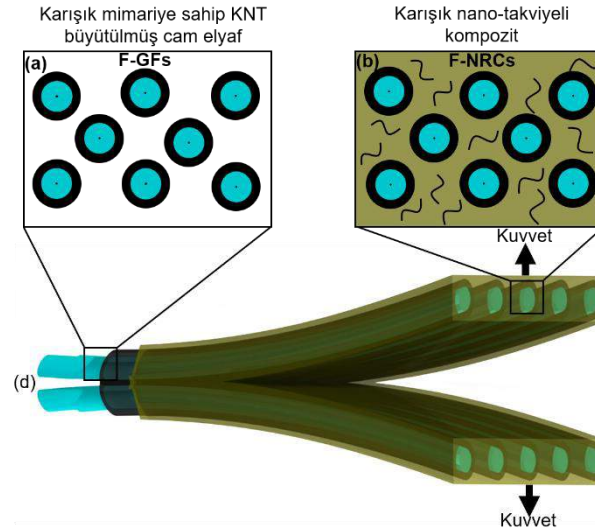
KNT miktarı düzgün bir dağılımın elde edilmesi için önemli bir parametre olmakta birlikte (Domun vd., 2015), KNT'lerin epoksi matris içerisinde iyi dağıtılması fonksiyonelleştirme ile sağlanabilmektedir (Cha vd., 2017). Ancak fonksiyonelleştirme işlemi sonucu mekanik özelliklerden taviz verilmesi söz konusudur (Gibson, 2010; Kim vd., 2006). Gojny vd. (Gojny vd., 2005) yapmış oldukları bir başka çalışmada KNT-takviyeli matrislere sahip FRP'leri incelemiş ve DWCNT katkısı ile katmanlararası kayma dayanımında (ILSS) ~%9'luk artış ortaya koymuşlardır. Dolayısıyla, KNT-katkılı matrislerin GFRP'lerin mekanik özelliklerini geliştirmede önemli bir potansiyele sahip oldukları açıktır.

KNT'ler ile yapılan yüzey modifikasyon tekniklerinden en sık kullanılanları elektroforetik biriktirme (An vd., 2012; An vd., 2018; Zhao vd., 2017) püskürtmeli kaplama (Zhang vd., 2015) ve daldırma (Jamnani vd., 2015; Li vd., 2013) teknikleri olup, kırılma tokluğu, ILSS ve arayüzey kayma dayanımı (IFSS) gibi mekanik özellikleri iyileştirdikleri gözlemlenmiştir. KNT'lerin cam fiberlerin (GF) bağlayıcılarına (sizing) karıştırılması (Warrier vd., 2010) ile başlangıç kırılma tokluğunda %10'luk iyileştirmeler gözlenmiş ancak büyük GF demetlerine bağlı olarak KNT'lerin köprüleme mekanizmalarında oluşan azalma sebebiyle ilerleme kırılma tokluğunda negatif etkiler ortaya çıkmıştır. Bunun yanı sıra, kimyasal buhar biriktirme (KBB) yöntemi sayesinde KNT büyütülmesine biçimsel kontrol sağlanmış, sıklıkla radyal yönelim gözlenmiş ve bu KNT/fiber mimarisi "karışık" fiber olarak adlandırılmıştır (Garcia vd., 2008). Wicks vd. (Wicks vd., 2010) karışık alumina fiber/epoksi kompozitler üzerinde yaptıkları çalışmalar sonucunda görsel olarak başlangıç ve kararlı-durum kırılma tokluklarında sırasıyla %63 ve %76'lık gelişmeler raporlamışlardır. Bu gelişmeler sıyrılmış KNT'ler ile kırılma toklukları arasında bir ilişki ortaya koymuş ve biçimsel kontrolün önemine dikkat çekmiştir. Termal olarak dayanıklı alumina fiberler, KBB prosesi sırasında gerekli olan yüksek sıcaklıklardan zarar görmedikleri için en büyük sorun karbon fiber (CF) ve GF'ler için ortaya çıkmaktadır. Katalitik reaksiyon ve KBB sebepli yüksek sıcaklıklar yüzünden GF'lerin çekme dayanımı düşmektedir (%56.3 (Qian vd., 2008)). Her şeye rağmen, KBB sıcaklığının 480 °C'ye düşürülmesi ve CF'lerin aşınmasını engelleyici fonksiyonel bir

kaplama kullanılması ile modül, dayanım ve IFSS değerlerinin korunumu sağlanmıştır (Li vd., 2015). Günümüzde daha basit kataliz sistemlerinin geliştirilmesi ile düşük sıcaklıklarda herhangi bir fonksiyonel kaplama kullanmadan karbon fiber üzerinde KNT sentezlenmesi üzerine çalışmalar devam etmektedir (Li vd., 2019), ancak GF ile karışık mimarilerin elde edilmesinde problemler hala mevcuttur. Karışık mimarinin KNT'lerin direkt olarak GF üzerinde sentezlenmesi ile elde edilmesi GF'lerin bozunmasına yol açmaktadır. Bağlayıcının sökülmesi ile birlikte GF'lerin dayanımı oldukça azalmakta (Thomason vd., 2019), yüzeydeki kusurlar ısıya maruz kalmaları sonucu şiddetlenmektedir (Feih vd., 2009). T-cam fiberlerin çekme özelliklerinde %58'lik düşüş raporlanmış (Kawada vd., 2012) ve E-cam fiber takviyeli kompozitlerin elastik modülünde KNT'lerin fibere tutturulması ile %25'lik azalma gözlemlenmiştir. Isıl işlem süresinin ve büyüme sıcaklığının ayarlanması ile GFRP'lerin kırılma tokluğunda yaklaşık %33'lük artış Storck vd. tarafından elde edilmiştir (Gojny vd., 2005).

Bugüne kadar yapılmış birçok çalışma KNTlerin matris içerisine ya da fiber yüzeyine katılanması ile FRP'lerin kırılma tokluğunda iyileştirmeler ortaya koymuştur. Ancak sadece birkaç çalışmada bu iki yöntemin aynı anda uygulandığı görülmüştür. Warriier vd. (Warriier vd., 2010) KNT'lerin GFRP'lerin bağlayıcısına ve matrisine karıştırılmasını incelemiş ve sonuç olarak ilerleme kırılma tokluğunda %34'lük azalma tespit ederken, başlangıç kırılma tokluğunun %28 arttığını ortaya koymuşlardır. Bir başka sonuç olarak ise KNT'lerin bağlayıcı içine karıştırılmaları ile ilerleme kırılma tokluğunda %51 düşüş gözlemlenmiştir. Wang vd. tarafından yapılmış olan daha yeni bir çalışmada ise KBB ile CF üzerinde sentezlenmiş çok duvarlı karbon nanotüpler (MWCNTs) ile matris içerisine dağılmış tek duvarlı karbon nanotüplerin (SWCNTs) ILSS üzerindeki eş etkin özellikleri incelenmiştir. KNT-büyütülmüş CFRP'ler ile KNT-katkılı matrise sahip CFRP'ler ILSS değerlerinde sırasıyla %34.8 ve %10.2lik artışlar ortaya koymuşlardır. İlginç bir şekilde, bahsedilen bu iki yöntemin birleştirilmesi ile ILSS'te %102.9'luk bir gelişme ortaya konulmuştur (Wang vd., 2017). Bilgimiz dahilinde, bu iki yöntemin birleşimi sadece birkaç araştırmacı tarafından çalışılmış olup, genel olarak bu yöntemler teker teker ele alınmıştır.

Bu çalışmada, GFRP'lerin katmanlararası kırılma toklukları yukarıda bahsedilen yaklaşımların birleştirilmesi ile incelenmiş ve geliştirilmesi hedeflenmiştir. Yönelimli KNT'ler direkt olarak GF yüzeyinde modifiye edilmiş bir KBB sistemi ile üretilmiş ve karışık cam fiber (F-GF) yapılar elde edilmiştir (Şekil 1a). Bu sırada, yüksek saflıkta KNT'ler aynı KBB sistemini kullanılarak Si yonga altkatmanlar üzerinde sentezlenmiş, epoksi matris içerisine dağılmış ve daha sonrasında bu KNT katkılı epoksi vakum infüzyon yöntemi (VIP) ile karışık fiber nano-takviyeli kompozitlerin (F-NRCs) üretiminde kullanılmıştır (Şekil 1b). Tek yönlü kompozit testleri ve Mode I katmanlararası kırılma tokluk testleri KNT katkılı GFRP'lerin kırılma tokluklarını incelemek için kullanılmışlardır.



Şekil 1 Üretilen kompozit yapıların şematikleri a) Karışık mimariye sahip KNT büyütülmüş GF (F-GF), b) karışık nano-takviyeli kompozit ve c) Mode I kırılma tokluğu testi numunesi

## 2. Deneysel Çalışmalar

### 2.1. Karbon Nanotüplerin Sentezi

Karbon nanotüp sentezi, Lindberg Blue tarafından tedarik edilen, çapı 5 cm olan bir kuvars tüpe sahip tek bölgeden oluşan özelleştirilmiş bir KBB fırını ile gerçekleştirilmiştir. KNT'ler, E-ışın buharlaşma yöntemi kullanılarak 10 nm  $Al_2O_3$  ve 1 nm Fe ile kaplanmış Si yongalar üzerinde sentezlenmiştir. Fırın 1600 sccm helyum ve 1000 sccm hidrojen gazları altında 750 °C'ye kadar ısıtılmıştır. Fırının ısınmasının ardından bu gazlar, 15 dakika boyunca çekirdeklenme yerleri oluşturmak üzere sisteme beslenmiştir. Daha sonra 400 sccm etilen gazı, 600 sccm hidrojen ve 1000 sccm helyum gazları ile birlikte başarılı bir şekilde KNT büyütülmesi için 15 dakika boyunca tüpe gönderilmiştir.

E-cam bezayağı dokunmuş kumaş güçlendirici malzeme olarak kullanılmıştır. Dokunmuş kumaşlar, fiber yüzeyleri üzerinde hizalı KNT'lerin büyütülmesi için Fe katalizör parçacıkları ile kaplanmıştır (Yamamoto vd., 2009). Dokunmuş kumaşlar, izopropil alkolde ( $C_3H_8O$ ) 50 mM'lik bir demir nitrat çözeltisine ( $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ ) batırılmış ve yönelim kontrolünü sağlamak için kontrollü nem koşulları altında 8 saat boyunca 30 °C'de bir fırında kurutulmuştur (Wicks vd., 2014). Fırından çıkarılan katalizlenmiş kumaşlar,  $4 \times 22$  cm<sup>2</sup> boyutlarında kesilmiş ve KBB sisteminin kuvars tüpün merkezine yerleştirilmiştir (Yamamoto vd., 2009). KNT'leri GF fitiller

(dokunmuş kumaşlardan çıkarılmış) ve dokunmuş kumaşlar üzerinde büyütme için, yukarıda açıklanmış olan büyütme protokolü büyüme sıcaklığının 650 °C olarak ayarlanması dışında aynı şekilde kullanılmıştır. Bu değişiklik, GF çekme dayanımının aşırı derecede bozulmasını önlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir (Kawada vd., 2012; Rahaman & Kar, 2014).

## 2.2. Karbon Nanotüplerin Karakterizasyonu

KNT'lerin morfolojik özellikleri, çeşitli yakınlaşma oranları altında 15 kV'ta QUANTA FEG SEM kullanılarak taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Genel KNT kalitesini araştırmak için Raman spektroskopisi, 100-3000  $\text{cm}^{-1}$  aralığında 532 nm yeşil lazerli bir Renishaw inVia refleks mikroskobu kullanılarak yürütülmüştür. KNT'lerin ısıl kararlılığını ve kalitesini belirlemek için termogravimetrik analiz (TGA) gerçekleştirilmiştir. Numuneler, 10 °C/dk ısıtma oranı ile TA Instrument SDT Q600 DSC-TGA kullanılarak oda sıcaklığından (~25 °C) 900 °C'ye kadar azot gazı ortamında ısıtılmıştır ve termal bozunma sıcaklıkları belirlenmiştir.

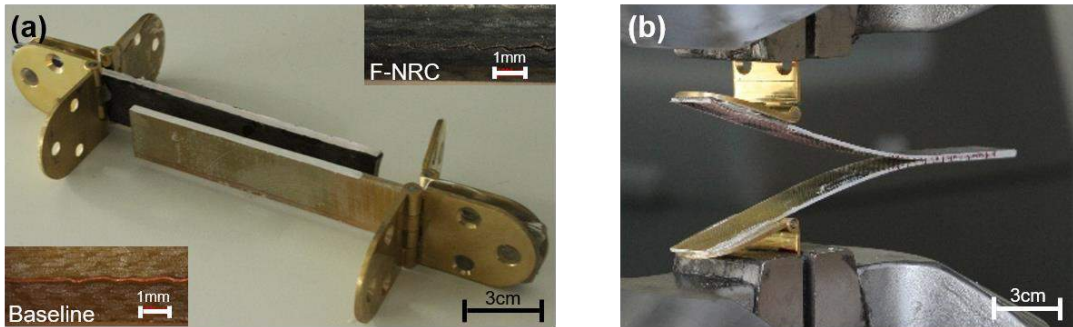
## 2.3. Kompozitlerin Üretimi ve Testleri

Dağıtılma işlemi için KNT'ler (ağırlıkça %0.04), bir manyetik karıştırıcı kullanılarak aseton (%95 saflık) içerisine karıştırılmıştır. Daha sonra bu solüsyon, bir filtre kağıdına dökülmüş ve kalan asetonu buharlaştırmak için KNTler 8 saat boyunca 30 °C'de kurutulmuştur. Sonrasında KNT'ler, 1800 rpm'de 80 °C'de 2 saat boyunca bir mekanik karıştırıcı kullanılarak 75 MPa'lık çekme dayanımına sahip havacılık sınıfı bir epoksi reçine olan Hexcel RTM 6 (RTM 6) içinde dağıtılmıştır.

Bir referans kompozit seti elde etmek amacıyla, ASTM D4018'e göre 15 dakika boyunca 450 °C'de He atmosferi altında numuneler tüp fırın kullanılarak ısıtılmış ve bağlayıcı pirolize edilmiştir. Pirolize edilmiş numuneler ve F-GF fitiller vakum infüzyon prosesi öncesinde düzleştirme amacıyla hizalanmış ve bir alüminyum tabaka üzerine yapıştırılmıştır. Kompozit üretiminden sonra, fitillerin uçları iki mukavva arasına gömülmüş ve Devcon 2 tone epoksi mukavvalar arasına eşit bir şekilde uygulanmıştır. Çekme testleri için, referans set (modifiye edilmemiş GF), F-GF'ler ve F-NRC'ler olmak üzere her bir set için beşer adet numune üretilmiştir. Çekme testleri, ASTM D4018'e göre 1 mm/dk test hızında numune yırtılması gerçekleşene kadar bir Shimadzu universal test makinesi (1 kN yük hücresi) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Referans numune ve F-NRC'ler 14 katmana sahip laminatlar olacak şekilde VIP kullanılarak üretilmiştir. F-NRC'lerin üretim sürecinde, en içteki 6 katman karışık fiberler olarak seçilmiş ve dıştaki 8 katman GF olarak kullanılmıştır. Islatma işlemi, 80 °C'de 740 mm Hg vakum koşulları altında yapılmıştır.

Mode I kırılma tokluk testi, referans numune ve F-NRC'ler için ve her bir sette en az 3 numune olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Bütün kompozitler saf RTM-6 ile dikdörtgen tabaka olarak üretilmişlerdir. Çift ankastrli kiriş (DCB) laminatların üretimi için, 15  $\mu\text{m}$  kalınlığında ve 5 cm uzunluğunda bir ince film laminatların bir ucunda en içteki iki katman arasına yerleştirilerek bir ön çatlak oluşturulmuştur. Bütün DCB numuneleri, 20 mm genişliğinde ve 167 mm uzunluğunda olacak şekilde işlenmiştir. Menteşeler epoksi yapıştırıcısı kullanılarak numune yüzeyi üzerine yapıştırılmış ve çatlak ilerlemesini gözlemlemek için kesit alanları tükenmez kalem ile işaretlenmiştir (Şekil 2). DCB numuneleri, ASTM D5528'e göre 1 mm/dk yüklenme hızı ile MTS test makinesi kullanılarak test edilmiştir. Çatlak ilerlemesi bir kamera ile kaydedilmiş ve kırılma tokluğu her 5 mm'de bir hesaplanmıştır.



Şekil 2 a) DCB numunelerinin kesit alanı görüntüsü ve b) Mode I kırılma tokluk testi

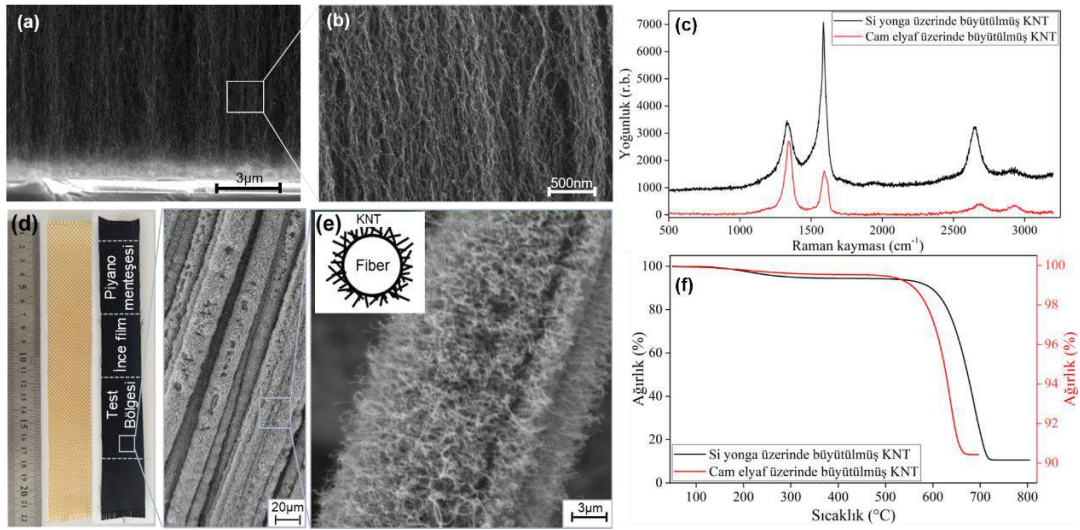
## 3. Sonuçlar ve Tartışma

Biçimsel karakterizasyonlar için, Si yonga plakası (wafer) ve GF üzerinde büyütülen KNT'lerin SEM görüntüleri incelenmiş ve KNT'lerin boyları belirlenmiştir. Si yonga plakası üzerinde büyütülen ve matris içerisine dağılım amacıyla kullanılan KNT'lerin dikey yönelim gösterdiği SEM görüntüleri ile anlaşılmıştır (Şekil 3a-b). Şekil 3a büyütülmüş KNT'lerin varlığını gösterirken, daha yakından bir görüntü Şekil 3b'de gösterilmekte ve KNT'lerin dalgalı yapısını ortaya koymaktadır. Şekil 3c dokunmuş cam fiber kumaşların KNT büyütme işlemi öncesi ve sonrası hallerini göstermektedir. Şekil 3c'de gösterildiği üzere, KNT büyütme işlemi tamamlandıktan sonra dokunmuş olan kumaşların yüksek sıcaklıklara maruz kalınması ve F-GF'lerin şişmesi sebebiyle hafif bir eğrilik ortaya çıkmıştır. Şekil 3d'de verilen SEM görüntüleri, GF üzerinde sentezlenmiş KNT'lerin yaklaşık olarak 3 mikrometre boyunda olduğunu ve kısa radyal yönelime sahip olduklarını göstermektedir.



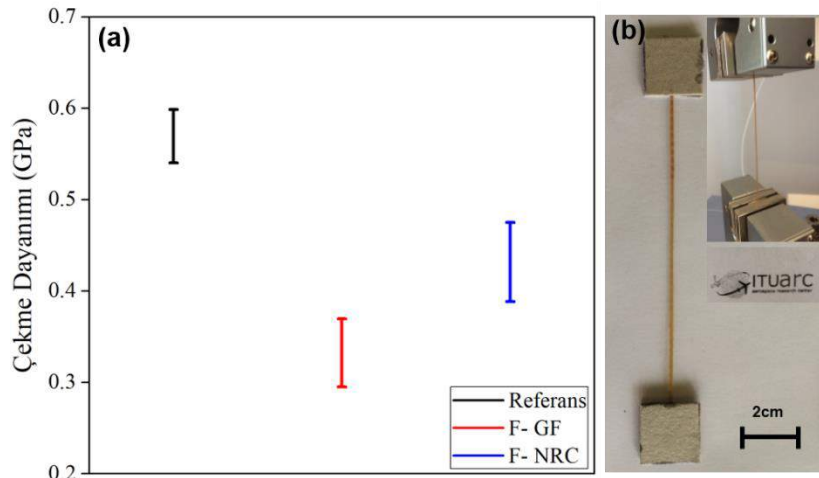
Raman Spektroskopisi hızlı ve güvenilir sonuçlar veren KNT kalitesini değerlendirmek için sıklıkla kullanılan hasarsız bir karakterizasyon yöntemi olup, bu çalışmada da kullanılmıştır. Şekil 3e’de Si yonga plakası ve GF üzerinde büyütülmüş olan KNT’lerin Raman sonuçları verilmektedir. Tipik olarak rastlanan tepelikler yaklaşık olarak  $1590\text{ cm}^{-1}$  ve  $1342\text{ cm}^{-1}$  de elde edilmiştir ve sırasıyla G ile D bantlarına karşılık geldikleri bilinmektedir. Si yonga plakası üzerinde büyütülen KNT’lerin  $I_G/I_D$  oranı 1.49 olarak elde edilmiş olup bu değer literatürde yapılmış KBB ile büyütülmüş olan MWCNT’lerin değerleri ile benzerlik göstermektedir (Lehman vd., 2011). Ancak F-GF numuneleri için ise,  $I_G/I_D$  oranının 0.6 olduğu görülmüş ve bu sonuç Şekil 3e’de gösterilmiştir.  $I_G/I_D$  oranındaki bu düşüş, kusura sahip KNT’lerin grafitik karbonları domine etmesine bağlanabilir. Benzer  $I_G/I_D$  oranları fiber üzerinde KBB ile sentezlenmiş MWCNTler için diğer çalışmalarda elde edilmiş (Boroujeni vd., 2016; Wang vd., 2017) ve sebep olarak düşük büyütme sıcaklıkları gösterilmiştir.

Si yonga plakası üzerinde büyütülmüş KNT’lerin TGA sonucu  $590\text{ }^\circ\text{C}$  ve  $685\text{ }^\circ\text{C}$ ’de %10 ve %50’lik kütle kayıpları olduğunu göstermektedir. Benzeri bir sonuç literatürde başka araştırmacılar tarafından da verilmektedir (Meshot vd., 2009). Diğer yandan TGA F-GF üzerinde büyütülmüş olan KNT’lerin hacim yüzdesini bulmak için kullanılmıştır (An vd., 2018; Zeiler vd., 2016). Elde edilen bilgilere göre  $550\text{ }^\circ\text{C}$ ’de %1’lik kütle kaybı görülmüştür ve F-GF yüzeyinde birikmiş olan nemin buharlaşması sonucu olduğu düşünülmektedir. Ayrıca GF’lerin üzerinde bulunan bağlayıcının katalizleme ve KNT büyütme esnasında yüksek sıcaklıklar ( $650\text{ }^\circ\text{C}$ ) sebebiyle yüzeyden kaldırıldığı düşünülmektedir. Sıcaklık  $700\text{ }^\circ\text{C}$ ’ye ulaştığında ise kütle kaybının %9 civarında durduğu gözlemlenmiş ve buna istinaden GF yüzeyinin ağırlıkça %8 KNT ile kaplandığı hesaplanmıştır.



Şekil 3(a ve b) Si yonga plakası üzerinde büyütülmüş olan KNT’lerin SEM görüntüleri, (c) Fe parçacıklarıyla kaplanmış ve KNT büyütülmüş dokunmuş kumaş, (d) F-GF’lerin SEM görüntüleri, (e) Si yonga plakası ve GF üzerinde büyütülmüş KNT’lerin Raman Spektroskopisi ve (f) Si yonga plakası ve GF üzerinde büyütülmüş KNT’lerin TGA sonuçları

Tek yönlü kompozit çekme test sonuçları Şekil 4a’da referans, F-GF ve F-NRC numuneleri için gösterilmektedir. Şekil 4b’de ise bir test numunesinin fotoğrafı görülmektedir. Sonuçlar karışık mimarinin GF’lere eklenmesi ile birlikte çekme dayanımında %42’lik bir düşüşün ortaya çıktığını göstermektedir. Karışık mimari ile birlikte epoksi içerisine KNT dağıtılmasının birleştirilmesi bu düşüşü azaltarak %24 seviyelerine getirmiştir.

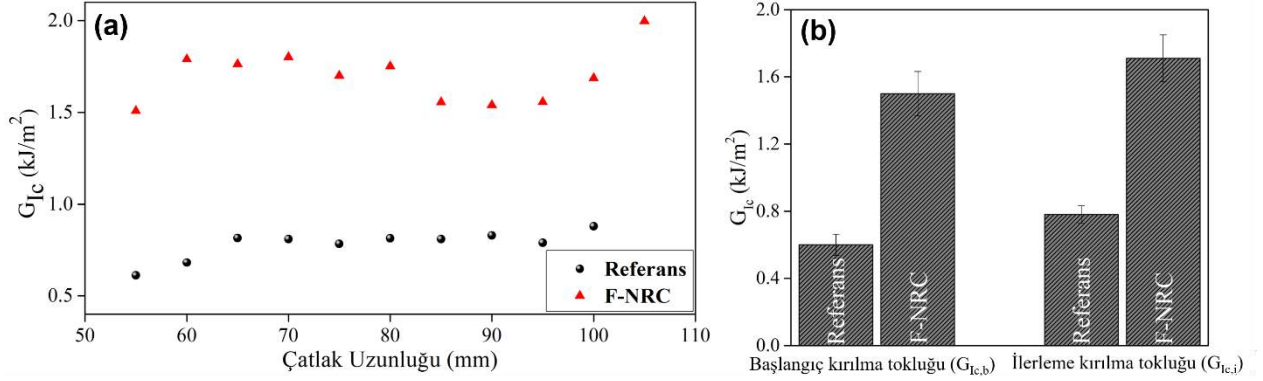


Şekil 4 a) Referans numune, F-GF ve F-NRC’lerin çekme dayanımı ve b) tek yönlü kompozitlerin çekme testi

Mode I kırılma test sonuçlarına göre referans ve F-NRC numunelerinin başlangıç ve ilerleme direniş eğrileri (R-curve) elde edilmiş ve Şekil 5a’da gösterilmişlerdir. Ortalama başlangıç ve ilerleme kırılma tokluk değerleri ( $G_{Ic,b}$  ve  $G_{Ic,i}$ ) Şekil 5b’de gösterilmektedir. Çatlak başlangıcından sonra F-NRC numunelerinin başlangıç kırılma tokluklarının referans numunelerine göre %150’lik bir

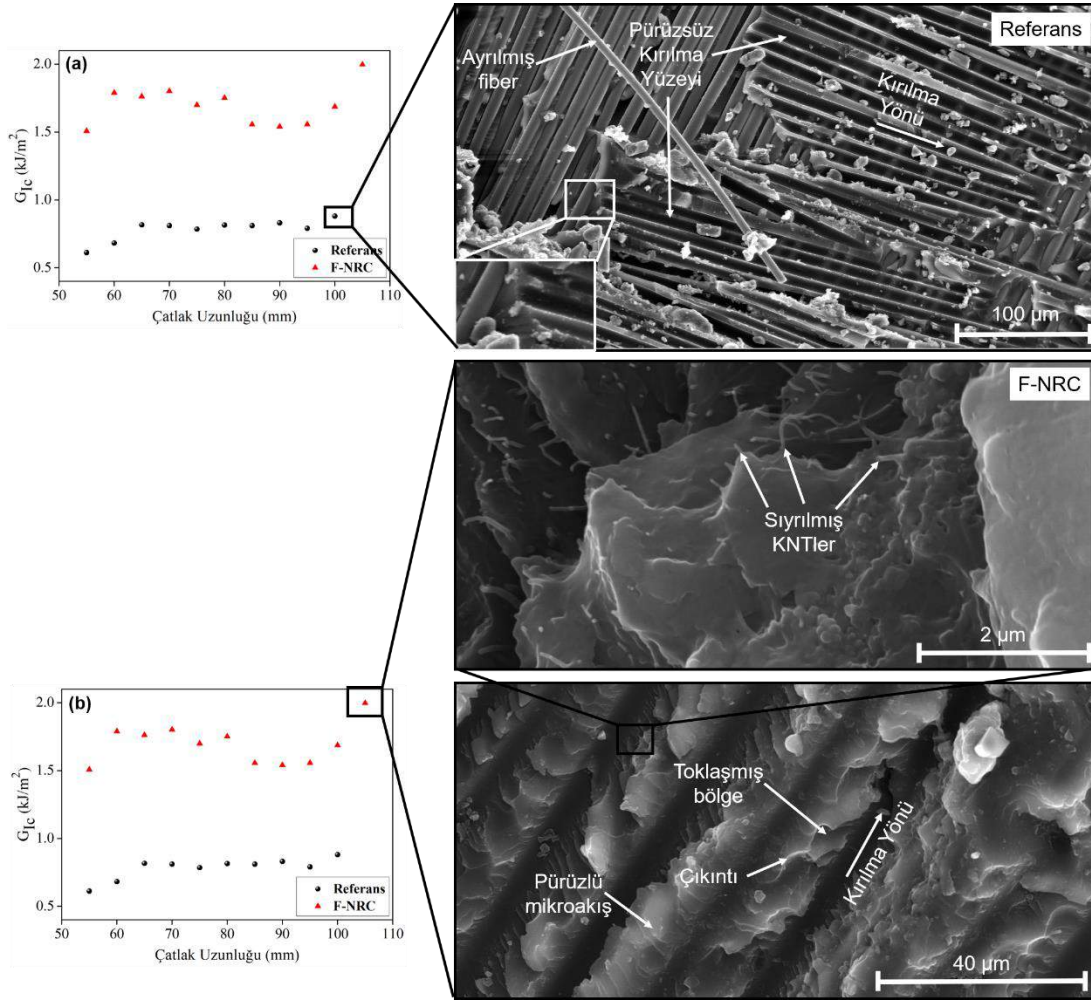


iyileştirmeye sahip oldukları görülmüştür. Benzer bir eğilim  $G_{Ic,i}$  değerleri için de gözlemlenmiştir. Ortalama  $G_{Ic,i}$  değerleri referans ve F-NRC numuneleri için 0.78 ve 1.70 kJ/m<sup>2</sup> olarak elde edilmiştir. Kırılma tokluğunda elde edilmiş olan iyileştirilmelerin daha detaylı incelenmesi için fraktografi yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 5 Referans numune ve F-NRClerin a) başlangıç ve kararlı-durum direniş eğrileri ve b) başlangıç ve ilerleme kırılma toklukları

Nano-katkıların mekanik özellikler üzerindeki etkilerini daha iyi anlayabilmek için kırılma analizi ile fraktografi incelemeleri Şekil 6'da gösterilen SEM görüntüleri ile gerçekleştirilmiştir. Referans numunelerin kırılma yüzeylerinde, ayrılmış fiberler ve matris üzerindeki pürüzsüz bölgeler, fiber ile matris arasında zayıf arabölge olduğunu işaret etmektedir. Buna ek olarak, referans numunelerin kırılma yüzeyi üzerinde ayrılmış fiberlere rastlanmıştır (Şekil 6a) ve bu fraktografik gözlemler, göreceli olarak düşük  $G_{Ic,b}$  ve  $G_{Ic,i}$  değerlerini açıklamaktadır (Wicks vd., 2014). Şekil 6b'de görüldüğü üzere F-NRC'lerin kırılma yüzeyleri matris birleşme hasarı tarafından baskın olarak karakterize edilmiş ve yüzeyler referans numunelere göre daha pürüzlü olduğu görülmüştür. Kırılma yüzeyleri ve Mode I test sonuçları incelendiğinde, KNT-takviyeli yapıların matris-fiber etkileşimini daha iyi bir biçimde koruduğu görülmektedir. F-NRClerin  $G_{Ic,b}$  ve  $G_{Ic,i}$  değerlerinde hafif artış numunelerin pürüzlü yüzeylere sahip olması sebebi ile olduğu düşünülmektedir; ek olarak belirlenen çıkıntılar daha planlı ve pürüzlü mikroakış daha belirgindir (Greenhalgh, 2009). Ayrıca F-NRC'lerin fiber izlerinde sıyrılmış KNT'lere rastlanmıştır ve bu durum fiber ile matris arasında oluşan köprü mekanizmasını işaret etmekte, ayrılmaya karşı yapıyı güçlendirmektedir. KNT'ler genel olarak çatlak yüzeyine dik olacak şekilde yüzeyden sökülürken, dolayısıyla da sökülme işlemi tamamlanmaya kadar çatlak ucunun açılmasını yavaşlatmaktadır (Wicks vd., 2010). Bunlara ek olarak KNT katkısının en önemli amaçlarından bir tanesi de yükleri taşımak ve fiber ile matris arasında yük transferini gerçekleştirmek, dolayısıyla da yapılan bu çalışmada da görülmüş olduğu üzere kırılma tokluğunu geliştirmektedir.



Şekil 6 SEM mikrograftı görüntüleri a) referans numune ve b) F-NRC

## 4. Sonuç

Yapılan bu çalışmada F-NRC'lerin katmanlararası kırılma toklukları incelenmiştir. İki farklı KNT-katkı yöntemi birleştirilmiş ve kompozitlerin düzlem dışı yöndeki mekanik özelliklerinde iyileştirmeler elde edilmiştir. Kırılma tokluğu analizleri öncesinde GFRP'lerin çekme dayanımlarında beklenen düşüşü gözlemlemek için testler gerçekleştirilmiş ve KNT katkısı ile düşüşler tespit edilmiştir (F-GF için %42, F-NRC için %24). Çekme dayanımındaki bu düşüşlerin sebebi olarak ise KNT büyütülmesi sırasında maruz kalınan yüksek sıcaklıklar (650 °C) olarak gösterilmiştir. Yapılmış olan Mode I ilerleme kırılma tokluğu testlerine göre F-NRC'ler, referans numunelere göre %150'lik bir artış göstermişlerdir. Bu kayda değer artışın arkasında sebepleri araştırmak amacıyla, numunelerin yüzeyleri fraktografi yöntemiyle incelenmiş ve kırılma toklukları değerlendirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda F-NRC'lerin sahip oldukları daha pürüzlü kırılma yüzeyleri sebebiyle kırılma tokluklarının artış sebebi açıklanmıştır. Ayrıca yüzeyden sökülen KNT'lerin gözlemlenmesi ile KNT'lerin köprü mekanizmalarının da önemli bir rol oynadığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre kırılma tokluğunun artmasının arkasındaki en önemli etkenler KNT katkısı sayesinde oluşan köprü mekanizmaları ve pürüzlü kırılma yüzeyleri olduğu sonucuna varılmıştır.

## Kaynakça

- An, Q., Rider, A. N., & Thostenson, E. T. (2012). Electrophoretic deposition of carbon nanotubes onto carbon-fiber fabric for production of carbon/epoxy composites with improved mechanical properties. *Carbon*, 50(11), 4130–4143. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2012.04.061>
- An, Q., Tamrakar, S., Gillespie, J. W., Rider, A. N., & Thostenson, E. T. (2018). Tailored glass fiber interphases via electrophoretic deposition of carbon nanotubes: Fiber and interphase characterization. *Composites Science and Technology*, 166, 131–139. <https://doi.org/10.1016/J.COMPSCITECH.2018.01.003>
- Arai, M., Noro, Y., Sugimoto, K. ichi, & Endo, M. (2008). Mode I and mode II interlaminar fracture toughness of CFRP laminates toughened by carbon nanofiber interlayer. *Composites Science and Technology*, 68(2), 516–525. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2007.06.007>
- Ashrafi, B., Guan, J., Mirjalili, V., Zhang, Y., Chun, L., Hubert, P., ... Johnston, A. (2011). Enhancement of mechanical performance of epoxy/carbon fiber laminate composites using single-walled carbon nanotubes. *Composites Science and Technology*, 71(13), 1569–1578. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2011.06.015>
- Bilisik, K., & Sapanci, E. (2019). Plain para-aramid/phenolic multiwall carbon nanotubes prepreg/multistiched preform composites: *e-ISSN: 2148-2683*

- Experimental characterization of mode-I toughness. *Journal of Composite Materials*, 53(13), 1847–1864. <https://doi.org/10.1177/0021998318812176>
- Boroujeni, A. Y., Tehrani, M., Manteghi, M., Zhou, Z., & Al-Haik, M. (2016). Electromagnetic Shielding Effectiveness of a Hybrid Carbon Nanotube/Glass Fiber Reinforced Polymer Composite. *Journal of Engineering Materials and Technology*, 138(4), 041001. <https://doi.org/10.1115/1.4033576>
- Cha, J., Jun, G. H., Park, J. K., Kim, J. C., Ryu, H. J., & Hong, S. H. (2017). Improvement of modulus, strength and fracture toughness of CNT/Epoxy nanocomposites through the functionalization of carbon nanotubes. *Composites Part B: Engineering*, 129, 169–179. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.07.070>
- Domun, N., Hadavinia, H., Zhang, T., Sainsbury, T., Liaghat, G. H., & Vahid, S. (2015). Improving the fracture toughness and the strength of epoxy using nanomaterials – a review of the current status. *Nanoscale*, 7(23), 10294–10329. <https://doi.org/10.1039/C5NR01354B>
- Falzon, B. G., Hawkins, S. C., Huynh, C. P., Radjef, R., & Brown, C. (2013). An investigation of Mode I and Mode II fracture toughness enhancement using aligned carbon nanotubes forests at the crack interface. *Composite Structures*. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2013.05.051>
- Feih, S., Manatpon, K., Mathys, Z., Gibson, A. G., & Mouritz, A. P. (2009). Strength degradation of glass fibers at high temperatures. *Journal of Materials Science*, 44(2), 392–400. <https://doi.org/10.1007/s10853-008-3140-x>
- Garcia, E. J., Wardle, B. L., John Hart, A., & Yamamoto, N. (2008). Fabrication and multifunctional properties of a hybrid laminate with aligned carbon nanotubes grown In Situ. *Composites Science and Technology*, 68(9), 2034–2041. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2008.02.028>
- Gibson, R. F. (2010). A review of recent research on mechanics of multifunctional composite materials and structures. *Composite Structures*, 92(12), 2793–2810. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2010.05.003>
- Godara, A., Mezzo, L., Luizi, F., Warriar, A., Lomov, S. V., van Vuure, A. W., ... Verpoest, I. (2009). Influence of carbon nanotube reinforcement on the processing and the mechanical behaviour of carbon fiber/epoxy composites. *Carbon*, 47(12), 2914–2923. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbon.2009.06.039>
- Gojny, F.H., Wichmann, M. H. G., Köpke, U., Fiedler, B., & Schulte, K. (2004). Carbon nanotube-reinforced epoxy-composites: enhanced stiffness and fracture toughness at low nanotube content. *Composites Science and Technology*, 64(15), 2363–2371. <https://doi.org/10.1016/J.COMPSCITECH.2004.04.002>
- Gojny, Florian H., Wichmann, M. H. G., Fiedler, B., Bauhofer, W., & Schulte, K. (2005). Influence of nano-modification on the mechanical and electrical properties of conventional fibre-reinforced composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 36(11), 1525–1535. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2005.02.007>
- Greenhalgh, E. S. B. T.-F. A. and F. of P. C. (Ed.). (2009). 4 - Delamination-dominated failures in polymer composites. In *Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering* (pp. 164–237). <https://doi.org/https://doi.org/10.1533/9781845696818.164>
- Harris, B. (1999). *Engineering composite materials*. IoM London
- Jamnani, B. D., Hosseini, S., Rahmanian, S., Rashid, S. A., & Balavandy, S. K. (2015). Grafting carbon nanotubes on glass fiber by dip coating technique to enhance tensile and interfacial shear strength. *Journal of Nanomaterials*, 16(1), 306.
- Karapappas, P., Vavouliotis, A., Tsoira, P., Kostopoulos, V., & Paipetis, A. (2009). Enhanced Fracture Properties of Carbon Reinforced Composites by the Addition of Multi-Wall Carbon Nanotubes. *Journal of Composite Materials*, 43, 977–985. <https://doi.org/10.1177/0021998308097735>
- Kawada, H., Sato, S., & Kameya, M. (2012). Modification of the Interface in Carbon Nanotube-Grafted T-Glass Fiber. In *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings (IMECE)* (Vol. 3). <https://doi.org/10.1115/IMECE2012-89318>
- Kaynan, O., Atescan, Y., Ozden-Yenigun, E., & Cebeci, H. (2018). Mixed Mode delamination in carbon nanotube/nanofiber interlayered composites. *Composites Part B: Engineering*, 154(March), 186–194. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.07.032>
- Kepple, K. L., Sanborn, G. P., Lacasse, P. A., Gruenberg, K. M., & Ready, W. J. (2008). Improved fracture toughness of carbon fiber composite functionalized with multi walled carbon nanotubes. *Carbon*. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2008.08.010>
- Kim, J. A., Seong, D. G., Kang, T. J., & Youn, J. R. (2006). Effects of surface modification on rheological and mechanical properties of CNT/epoxy composites. *Carbon*, 44(10), 1898–1905. <https://doi.org/10.1016/J.CARBON.2006.02.026>
- Lee, S.-H., Noguchi, H., Kim, Y.-B., & Cheong, S.-K. (2002). Effect of interleaved non-woven carbon tissue on interlaminar fracture toughness of laminated composites: Part II–Mode I. *Journal of Composite Materials*, 36(18), 2169–2181.
- Lehman, J. H., Terrones, M., Mansfield, E., Hurst, K. E., & Meunier, V. (2011). Evaluating the characteristics of multiwall carbon nanotubes. *Carbon*, 49(8), 2581–2602. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2011.03.028>
- Li, M., Gu, Y., Liu, Y., Li, Y., & Zhang, Z. (2013). Interfacial improvement of carbon fiber/epoxy composites using a simple process for depositing commercially functionalized carbon nanotubes on the fibers. *Carbon*, 52, 109–121. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2012.09.011>
- Li, R., Antunes, E. F., Kalfon-Cohen, E., Kudo, A., Acauan, L., Yang, W.-C. D., ... Wardle, B. L. (2019). Low-Temperature Growth of Carbon Nanotubes Catalyzed by Sodium-based Ingredients. *Angewandte Chemie International Edition*, 1–7. <https://doi.org/10.1002/anie.201902516>
- Li, R., Lachman, N., Florin, P., Wagner, H. D., & Wardle, B. L. (2015). Hierarchical carbon nanotube carbon fiber unidirectional composites with preserved tensile and interfacial properties. *Composites Science and Technology*, 117, 139–145. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2015.04.014>
- Mallick, P. K. (2007). *Fiber-reinforced composites: materials, manufacturing, and design*. CRC press.
- Meshot, E. R., Plata, D. L., Tawfick, S., Zhang, Y., Verploegen, E. A., & Hart, A. J. (2009). Engineering Vertically Aligned Carbon

- Nanotube Growth by Decoupled Thermal Treatment of Precursor and Catalyst. *ACS Nano*, 3(9), 2477–2486. <https://doi.org/10.1021/nn900446a>
- Qian, H., Bismarck, A., Greenhalgh, E. S., Kalinka, G., & Shaffer, M. S. P. (2008). Hierarchical composites reinforced with carbon nanotube grafted fibers: The potential assessed at the single fiber level. *Chemistry of Materials*, 20(5), 1862–1869. <https://doi.org/10.1021/cm702782j>
- Rahaman, A., & Kar, K. K. (2014). Carbon nanomaterials grown on E-glass fibers and their application in composite. *Composites Science and Technology*, 101, 1–10. <https://doi.org/10.1016/J.COMPSCITECH.2014.06.019>
- Sadeghian, R., Gangireddy, S., Minaie, B., & Hsiao, K.-T. (2006). Manufacturing carbon nanofibers toughened polyester/glass fiber composites using vacuum assisted resin transfer molding for enhancing the mode-I delamination resistance. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 37(10), 1787–1795. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2005.09.010>
- Storck, S., Malecki, H., Shah, T., & Zupan, M. (2011). Improvements in interlaminar strength: A carbon nanotube approach. *Composites Part B: Engineering*, 42(6), 1508–1516. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2011.04.039>
- Thomason, J. L., Nagel, U., Yang, L., & Bryce, D. (2019). A study of the thermal degradation of glass fibre sizings at composite processing temperatures. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 121(December 2018), 56–63. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2019.03.013>
- Veedu, V. P., Cao, A., Li, X., Ma, K., Soldano, C., Kar, S., ... Ghasemi-Nejhad, M. N. (2006). Multifunctional composites using reinforced laminae with carbon-nanotube forests. *Nature Materials*, 5(6), 457–462. <https://doi.org/10.1038/nmat1650>
- Wang, Y., Raman Pillai, S. K., Che, J., & Chan-Park, M. B. (2017). High Interlaminar Shear Strength Enhancement of Carbon Fiber/Epoxy Composite through Fiber- and Matrix-Anchored Carbon Nanotube Networks. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 9(10), 8960–8966. <https://doi.org/10.1021/acsami.6b13197>
- Warrier, A., Godara, A., Rochez, O., Mezzo, L., Luizi, F., Gorbatiikh, L., ... Verpoest, I. (2010). The effect of adding carbon nanotubes to glass/epoxy composites in the fibre sizing and/or the matrix. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 41(4), 532–538. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2010.01.001>
- Wicks, S. S., de Villoria, R. G., & Wardle, B. L. (2010). Interlaminar and intralaminar reinforcement of composite laminates with aligned carbon nanotubes. *Composites Science and Technology*, 70(1), 20–28. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2009.09.001>
- Wicks, S. S., Wang, W., Williams, M. R., & Wardle, B. L. (2014). Multi-scale interlaminar fracture mechanisms in woven composite laminates reinforced with aligned carbon nanotubes. *Composites Science and Technology*, 100, 128–135. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2014.06.003>
- Yamamoto, N., John Hart, A., Garcia, E. J., Wicks, S. S., Duong, H. M., Slocum, A. H., & Wardle, B. L. (2009). High-yield growth and morphology control of aligned carbon nanotubes on ceramic fibers for multifunctional enhancement of structural composites. *Carbon*, 47(3), 551–560. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2008.10.030>
- Yokozeki, T., Iwahori, Y., Ishiwata, S., & Enomoto, K. (2007). Mechanical properties of CFRP laminates manufactured from unidirectional prepregs using CSCNT-dispersed epoxy. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 38(10), 2121–2130. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2007.07.002>
- Zeiler, R., Kuttner, C., Khalid, U., Kothmann, M. H., & Dijkstra, D. J. (2016). Polyvinyl Alcohol-Modified Pithecellobium Clypearia Benth Herbal Residue FiberPolypropylene Composites. *Polymer Composites*, 37(1), 915–924. <https://doi.org/10.1002/pc>
- Zhang, H., Liu, Y., Kuwata, M., Bilotti, E., & Peijs, T. (2015). Improved fracture toughness and integrated damage sensing capability by spray coated CNTs on carbon fibre prepreg. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 70, 102–110. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2014.11.029>
- Zhao, Z., Teng, K., Li, N., Li, X., Xu, Z., Chen, L., ... Fu, H. (2017). Mechanical , thermal and interfacial performances of carbon fiber reinforced composites flavored by carbon nanotube in matrix / interface. *Composite Structures*, 159, 761–772. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.10.022>





# Gas kromatografi kütle spektrometresi ile sulama kanal suyu ve toprak numunesindeki fenazaquinin tayini

Nouha Bakaraki Turan<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Yıldız Technical University, Faculty of Art and Science, Chemistry Department, 34220, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7431-1077)

(İlk Geliş Tarihi 3 Ekim 2019 ve Kabul Tarihi 31 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.629144)

**ATIF/REFERENCE:** Turan, N. B. (2019). Determination of fenazaquin in irrigation canal water and soil samples by gas chromatography mass spectrometry. *European Journal of Science and Technology*, (17), 1334-1339.

## Öz

Pestisitlerin tarımsal alanlarda gereğinden fazla ve yanlış kullanımlarının yol açtığı sağlık problemleri, pestisit kullanımının düzenlenmesi ve kontrol edilmesi için acil müdahalenin gerekliliğini doğurmuştur. Kontrolsüz pestisit kullanımının çevreye olan etkisi su ve toprak gibi çevresel kaynaklarda meydana gelen p ile kanıtlanmıştır. Fenazaquin tarım alanlarında yaygın olarak kullanılan ve canlı ve çevre sağlığı açısından olumsuz etki gösterdiği bilinen pestisitler içerisinde yer almaktadır. Bu çalışmada, iki farklı çevresel kaynaktan alınan numune analiz edilmiş; yüksek hassasiyete sahip bi gaz kromatografisi-kütle spektrometresi (GC-MS) kullanılarak sulama kanal suyu ve toprak numunelerinde daha önce belirtilen pestisit 'fenazaquin'in tayini gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında tespit limiti (LOD), tayin limiti (LOQ) ve bağıl standart sapma (RSD) değerleri sırasıyla 0.04 mg/L, 0.14 mg/L and 10.2% olarak belirlenmiştir. Bir sonraki adımda, gerçek örnek matrislerinin analiz sonuçlarına etkilerini gözlemlemek amacıyla, yüksek konsantrasyonlu stok çözeltilerin düşük hacimleri ilave edilerek numuneler farklı kokonsantrasyonlarda hazırlanmıştır. Yapılan bütün ölçümlerde hassas analitik cihaz GCMS sisteminde geliştirilen uygun sıcaklık programı kullanılmıştır. Klasik geri kazanım prosedürünü kullanarak elde edilen sonuçlar yeterli derecede olmasına rağmen matris eşleştirme kalibrasyon stratejisinin kullanımı sayesinde geri kazanım oranı neredeyse %100'e yükseltilmiştir. Nitekim, bu çalışma iki farklı çevresel numunedeki fenazaquinin klasik geri kazanım ve matris eşleşme stratejisi ile tespit edilebileceğini açıklamaktadır. Sulama kanalı suyu ve toprak örnekleri tarım alanlarında kullanılan pestisitlerden kaynaklanan yüksek kontaminasyon riski altındadır.

**Anahtar Kelimeler:** Fenazaquin, Pestisitler; GC-MS

## Determination of fenazaquin in irrigation canal water and soil samples by gas chromatography mass spectrometry

### Abstract

The urgent call for the control and regulation of pesticide usage arose from the adverse health effects associated with their excessive and wrong application mostly in the agricultural field. The uncontrolled use of pesticides has been proved to affect the environment because of their ability to accumulate in different environmental resources such as water and soil. Fenazaquin is one of the mostly used pesticides in the agricultural field known by its adverse health effects. In this study, the previously mentioned pesticide "fenazaquin" was analyzed in two different kind of environmental samples: irrigation canal water and soil samples using a highly accurate gas chromatography mass spectrometer (GCMS). In the first step of the study, the limit of qualification (LOD), limit of quantification (LOQ), and relative standard deviation (RSD) were determined and calculated to be 0.04 mg/L, 0.14 mg/L and 10.2%, respectively. In the following step, the samples were spiked at different concentrations using low volumes of high concentration stock solution, to ensure the real effects of the sample matrices were observed. All measurement were performed by applying the adequate temperature program of the sensitive analytical instrument GCMS. The results obtained using the classical recovery procedure was satisfactory but matrix matching calibration strategy was used to improve the percent recoveries to almost 100%. Thus, this study explains the possibility of fenazaquin determination in two different environmental samples using the classical recovery and matrix matching strategies. Irrigation canal water and soil samples are on a high contamination risk from the pesticides used in the agricultural field.

**Keywords:** Fenazaquin; Pesticides; GC-MS

\* Corresponding author: Yildiz Technical University, Faculty of Art and Science, Chemistry Department, Istanbul, Turkey, 0000-0002-7431-1077, nbakarakituran@gmail.com



## **1. Introduction**

Pesticides are mainly used to control, prevent and eradicate pests from agricultural fields and households that usually pose a serious nuisance to human beings and other living organisms (Pan et al., 2019). Based on the target organism, pesticides can be classified as herbicides, insecticides, bactericides, fungicides, etc. (Kim, Kabir, & Jahan, 2017). Pesticides contain mainly natural extracts from plants and dozens of chemically synthesized compounds that are used to ameliorate the pesticide effectiveness and shelf-life (Bulgurcuoğlu, Yılmaz, Chormey, & Bakirdere, 2018). An increase in the worldwide consumption of pesticides has been reported in many diverse areas including agriculture, gardens, public places, hospitals and others (Ramakrishnan, Venkateswarlu, Sethunathan, & Megharaj, 2018). The inappropriate usage of pesticides and the application of high dosage may lead to harmful consequences that affect the health of living organisms and contaminate environmental resources such as water, air and soil (Jayaraj, Megha, & Sreedev, 2016). Exposure routes such as consumption of contaminated water or food and inhalation of polluted air, together with the type of pesticide and duration of exposure define the severity of the effects on human health and living organisms (Dhananjayan & Ravichandran, 2018). The respiratory, cardiovascular, reproductive, immune, endocrine and nervous systems are influenced mainly by the long period exposure to pesticide at low levels (Souza et al., 2011).

Fenazaquin (4-(2-(4-t-butylphenyl) ethoxy) quinazoline) is a member of the quinazoline group of pesticides that act by inhibiting the electron transfer of the mitochondrial respiratory chain (Sangeetha & Ramaraju, 2013). Fenazaquin acts against the phytophagous mites found mainly in agricultural staple foods such as almonds, grapes and citrus fruits (Solomon, Fitzgerald, & Ridout, 1993). The European Commission approved its use and limit the daily intake (ADI) to 0.005 mg/kg body weight/ day (Elanco, 1993).

Pesticide analysis is widely conducted by instrumental chromatography, mainly liquid chromatography (LC) and gas chromatography (GC). The selection of the suitable chromatographic instrumentation is based mainly on the physical characteristics of the mobile phase such as polarity, thermal stability and volatility (Coskun, 2016). It is reported that GC is more suitable for volatile compounds in comparison to LC which is applied to more polar and non-volatile compounds (Chormey, Karakuş, et al., 2017). GC can be coupled with different detection systems including thermal conductivity detector (TCD), electron capture detector (ECD), nitrogen phosphorus detector (NPD) and flame photometric detector (PID), flame ionization detector (FID) (Chormey, Büyükpınar, Turak, Komesli, & Bakirdere, 2017; Rahman, El-Aty, & Shim, 2015). A more sensitive, accurate and precise determination of compounds is achieved when GC is coupled with mass spectrometry (MS) (Lindon, Tranter, & Koppenaal, 2016). In addition to chromatographic separation based on different retention times, the mass spectrometer also separates compounds from each other based on different mass-to-charge ratio ions. This allows selective and specific determinations to be carried out for compounds (Bulgurcuoğlu et al., 2018; Kapukıran, Fırat, Chormey, Bakirdere, & Özdoğan, 2019). Complex sample matrices present interferences that affect the accuracy of quantifying analytes. These interferences could result in false negative or false positive results (Chormey Dotse et al., 2018).

This study was therefore aimed at determining fenazaquin in complex environmental samples and using matrix matching calibration method to offset interferences for accurate quantification.

## **2. Material and Methods**

### **2.1. Apparatus**

Fenazaquin was analyzed with a 6890 model Agilent (USA) gas chromatograph equipped with a non-polar HP-5MS column having film size value, internal diameter and length of 0.25 µm, 250 µm and 30 m, respectively. The identification and quantification of fenazaquin was achieved with a 5973 model Agilent mass spectrometer connected to the gas chromatographic system. The quantifier and qualifier ion were selected as 145 and 160 (m/z), respectively, and data acquisition was in the selected ion monitoring (SIM). Fenazaquin was eluted using a single temperature ramp program (40 °C/min) from an initial temperature of 70 °C to 280 °C and held for 2.35 min. The MS source, MS quad, MS transfer line and the temperature of the injection port were fixed at 230 °C, 150 °C, 280 °C and 250 °C, respectively. Sample injection was performed in the splitless mode with a fixed volume of 1.0 µL for each analysis, and the flow rate of helium carrier gas was set constant at 1.4 mL per minute.

### **2.2. Chemicals and reagents**

Fenazaquin (C<sub>20</sub>H<sub>22</sub>N<sub>2</sub>O) standard (CAS# 120928-09-8) was purchased from Dr. Ehrenstorfer GmbH (Germany) with a percent purity of 99.0%. The stock solution of fenazaquin was prepared in methanol and stored at -18 °C for further use. Calibration standards and intermediate standard solutions were prepared by diluting the stock solution with deionized water which was obtained from an ELGA - VEOLIA Flex 3 ultra-pure water system. Analytical grade chemicals purchased from Merck - Germany were used in this study.

### **2.3. Samples**

Soil samples were taken from different locations of the same university campus of Yildiz Technical University, Davutpasa campus. Soil samples were homogenized, grinded and sieved to obtain one bulk sample with very fine particles having sizes less than

0.10 cm. Water from an irrigation canal was sampled into plastic bottles after being rinsed adequately and stored under room conditions in a wooden cabinet. The water sample was filtered using 12 µm filter papers prior to each analysis.

### 3. Results and discussion

All measurements in the study including calibration standards and spiked samples were done in triplicates and the average values used for developing calibration plots and calculating percent recoveries.

#### 3.1. Qualitative and quantitative determination of Fenazaquin

A standard solution of fenazaquin (20 mg/L) was eluted using the temperature program given in section 2.1. Fenazaquin was eluted at a retention time of 7.03 min as shown for the extract ion chromatogram of Figure 1 for the four most prominent ions. Standard solutions were prepared between 0.10 – 100 mg/L to develop a calibration plot which was linear between 0.20 and 50 mg/L, with a coefficient determination value ( $R^2$ ) of 0.9993. The standard deviation (StdDev) value for six replicate measurements of the lowest calibration standard (0.20 mg/L) was used to calculate the limit of qualification, limit of quantification and percent standard deviation (%RSD) using the equations below:

$$\text{LOD: } 3 \times \text{StdDev/slope} \quad (1)$$

$$\text{LOQ: } 10 \times \text{StdDev/slope} \quad (2)$$

$$\% \text{RSD: } (\text{StdDev/Average}) \times 100 \quad (3)$$

The values calculated for LOD, LOQ and %RSD were 0.04 mg/L, 0.14 mg/L and 10.2%, respectively. The linearity of the calibration plot can be seen in the calibration plot of Figure 2 ( $R^2=0.9993$ ) and low %RSDs shows good instrumental repeatability.

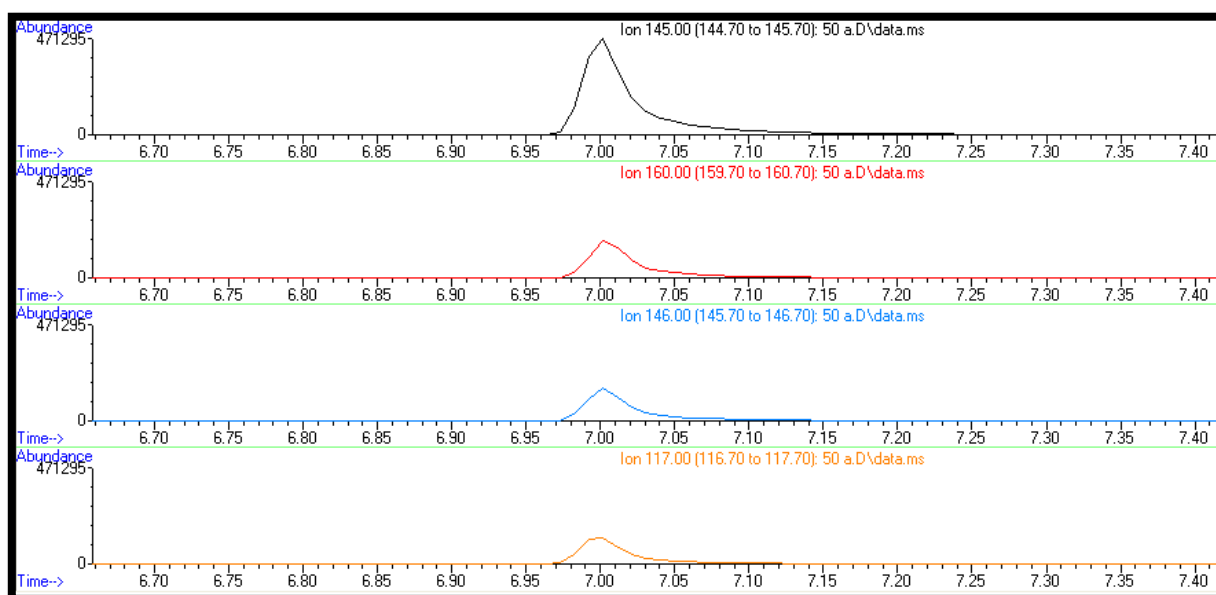


Figure 1. Extraction chromatogram for the four most prominent ions of fenazaquin.

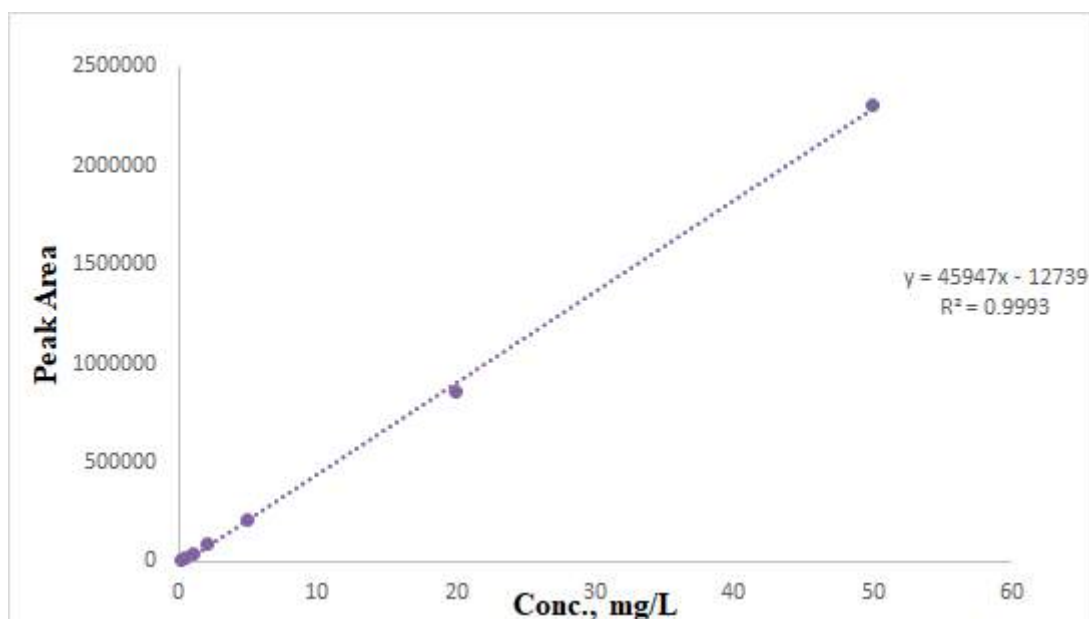


Figure 2. Calibration plot of fenazaquin standard solutions (0.20 – 50 mg/L).

### 3.2. Recovery studies in irrigation canal water

Irrigation canals are viable sources of water needed to ensure regular and timely irrigation of agricultural crops. Since these canals are not covered, they are prone to contamination during and after application of pesticides, and this may increase in quantity over. Water from an irrigation canal situated on a farmland was directly measured by the GC-MS system to determine whether or not fenazaquin was present. The blank analysis did not produce an analytical signal at the retention time of fenazaquin and was therefore considered to be clean. In order to evaluate the effect the irrigation canal would have on the analyte, spike recovery tests were performed at 2.0, 5.0, 10 and 50 mg/L. With respect to the calibration standards used in validating the GC-MS system, the percent recoveries for spiked irrigation canal samples fell below 80%. Thus, matrix matching was employed by preparing the calibration standards in a different irrigation canal matrix, which recorded an  $R^2$  value of 1.000. The peak area values of the spiked samples were very close to their corresponding calibration standards and this produced  $101.6 \pm 3.6\%$ ,  $99.2 \pm 3.0\%$ ,  $100.0 \pm 7.5\%$  and  $100.1 \pm 4.7\%$ .

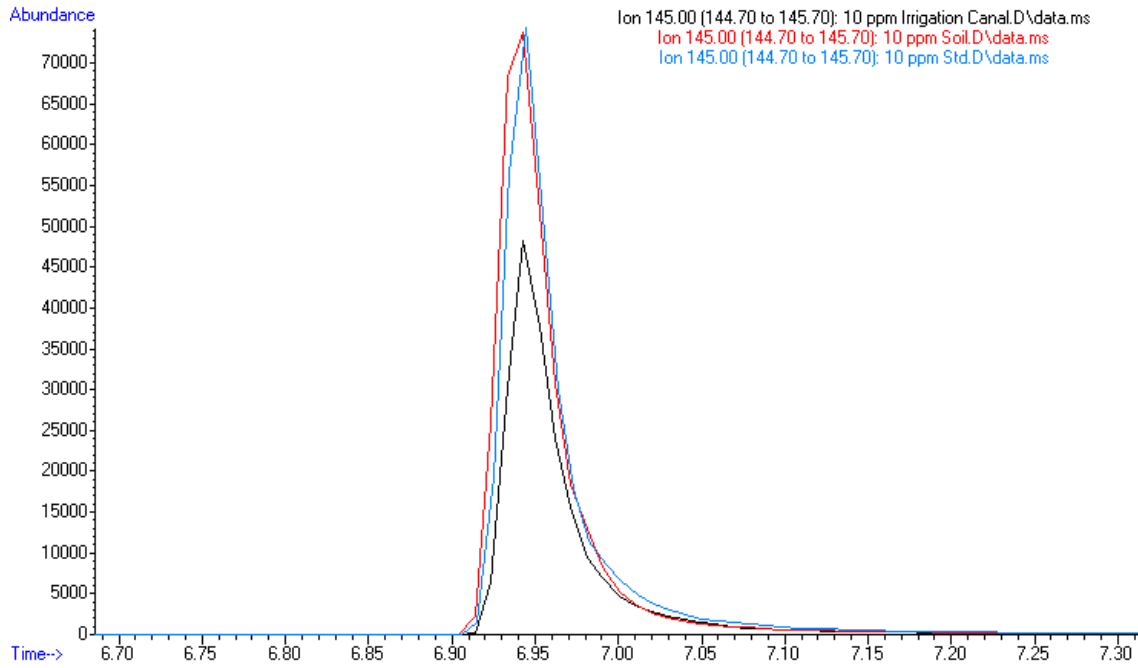
### 3.3. Recovery study in soil samples

The soil is one of the most easily contaminated resources after application of pesticides. The balance of the ecosystem stands great risk from such contaminations because of the potential adverse effects on non-target plants and microorganisms in the soil. Fine soil samples (0.50 g) were spiked with fenazaquin standard solution to final concentrations of 5.0, 10 and 20 mg/kg and allowed to dry completely for 2.0 h at 70 °C. Then, the soil samples were transferred into 15 mL centrifuge tubes by washing with 5.0 mL methanol. The solution was mixed on a mechanical shaker for 20 min and centrifuged at 6000 rpm for 120 s. The supernatant was filtered through 0.45  $\mu\text{m}$  syringe filters and 1.0 mL taken into vials for injection into the GC-MS system. Blank soil extracts were also sent to the instrument but fenazaquin was not detected. Unlike the irrigation water sample, the soil extract was in methanol similar to the calibration standards and this resulted in close to 100% recovery. Overlay chromatograms for 10 mg/L fenazaquin standard and irrigation canal and soil samples spiked at 10 mg/L is presented in Figure 3. The recoveries obtained for 5.0, 10 and 20 mg/kg spiked soil samples were  $94.8 \pm 2.2\%$ ,  $101.1 \pm 0.8\%$  and  $95.9 \pm 1.5\%$ . These results showed that the soil matrix did not affect recovery and quantification of fenazaquin.

Table 1 shows a comparison of the recovery percentages of fenazaquin standard at 10 mg/L in irrigation canal water and soil.

Table 1. Comparison of the recovery percentage in irrigation canal water and soil at the same concentration of fenazaquin (10 mg/L)

Sample spiked with 10 mg/L of Fenazaquin	Recovery (%)
Irrigation canal water	$99.2 \pm 3.0\%$ ,
Soil	$101.1 \pm 0.8\%$



**Figure 3.** Overlay chromatograms of 10 mg/L standard solution, 10 mg/L spiked soil sample and 10 mg/L spiked irrigation canal water sample.

## 4. Conclusion

The aim of this study was to determine fenazaquin in irrigation canal water and soil samples using the highly sensitive GC-MS analytical instrument. The analyte was eluted using an appropriate temperature program within a short period and quantified based on the most intense ion. Spiked recovery studies were performed on irrigation canal water and soil samples at different concentrations to ascertain the effect of each matrix on the quantification of fenazaquin. Irrigation canal recorded low recovery results against the calibration standards but this was corrected by using matrix matching calibration technique to obtain almost 100% recovery for the three spike concentrations. The spiked soil samples produced satisfactory recovery results.

## References

- Bulgurcuoğlu, A. E., Yılmaz, B., Chormey, D. S., & Bakırdere, S. (2018). Simultaneous determination of estrone and selected pesticides in water medium by GC-MS after multivariate optimization of microextraction strategy. *Environmental monitoring and assessment*, 190(4), 252.
- Chormey Dotse, S., Fırat, M., Büyükpınar, Ç., Erulaş, F., Komesli Okan, T., Turak, F., & Bakırdere, S. (2018). Accurate determination of pesticides, hormones and endocrine disruptor compounds in complex environmental samples using matrix dilution and matrix matching with dispersive liquid-liquid microextraction *Pure and Applied Chemistry* (Vol. 90, pp. 1703).
- Chormey, D. S., Büyükpınar, Ç., Turak, F., Komesli, O. T., & Bakırdere, S. (2017). Simultaneous determination of selected hormones, endocrine disruptor compounds, and pesticides in water medium at trace levels by GC-MS after dispersive liquid-liquid microextraction. *Environmental monitoring and assessment*, 189(6), 277.
- Chormey, D. S., Karakuş, Y., Karayaka, S., Özsöyler, Ç., Bozdoğan, A. E., & Bakırdere, S. (2017). Multivariate optimization of dispersive liquid-liquid microextraction for the determination of paclobutrazol and triflumizole in water by GC-MS. *Journal of Separation Science*, 40(23), 4541-4548. doi:10.1002/jssc.201700853
- Coskun, O. (2016). Separation techniques: chromatography. *Northern clinics of Istanbul*, 3(2), 156.
- Dhananjayan, V., & Ravichandran, B. (2018). Occupational health risk of farmers exposed to pesticides in agricultural activities. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 4, 31-37.
- Elanco, D. (1993). Fenazaquin—A Profile. *Department of Regulatory Toxicology and Environmental Affairs, Agriculture Products Research and Development, Oxfordshire, UK*.
- Jayaraj, R., Megha, P., & Sreedev, P. (2016). Organochlorine pesticides, their toxic effects on living organisms and their fate in the environment. *Interdisciplinary toxicology*, 9(3-4), 90-100.
- Kapukıran, F., Fırat, M., Chormey, D. S., Bakırdere, S., & Özdoğan, N. (2019). Accurate and Sensitive Determination Method for Procymidone and Chlorflurenol in Municipal Wastewater, Medical Wastewater and Irrigation Canal Water by GC-MS After Vortex Assisted Switchable Solvent Liquid Phase Microextraction. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 102(6), 848-853. doi:10.1007/s00128-019-02618-w

- Kim, K.-H., Kabir, E., & Jahan, S. A. (2017). Exposure to pesticides and the associated human health effects. *Science of the Total Environment*, 575, 525-535.
- Lindon, J. C., Tranter, G. E., & Koppenaal, D. (2016). *Encyclopedia of spectroscopy and spectrometry*: Academic Press.
- Pan, X., Dong, F., Wu, X., Xu, J., Liu, X., & Zheng, Y. (2019). Progress of the discovery, application, and control technologies of chemical pesticides in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(4), 840-853.
- Rahman, M. M., El-Aty, A. A., & Shim, J. (2015). Overview of Detectors in Gas Chromatography. In V. Pino, J. L. Anderson, A. Berthod, & A. M. Stalcup (Eds.), *Analytical Separation Science* (pp. 835-848): Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.
- Ramakrishnan, B., Venkateswarlu, K., Sethunathan, N., & Megharaj, M. (2018). Local applications but global implications: Can pesticides drive microorganisms to develop antimicrobial resistance? *Science of the Total Environment*.
- Sangeetha, S., & Ramaraju, K. (2013). Relative Toxicity of Fenazaquin Against Two-Spotted Spider Mite on Okra. *International journal of vegetable science*, 19(3), 282-293.
- Solomon, M., Fitzgerald, J., & Ridout, M. (1993). Fenazaquin, a selective acaricide for use in IPM in apple in the UK. *Crop Protection*, 12(4), 255-258.
- Souza, A. d., Medeiros, A. d. R., Souza, A. C. d., Wink, M., Siqueira, I. R., Ferreira, M. B. C., . . . Torres, I. L. d. S. (2011). Evaluation of the impact of exposure to pesticides on the health of the rural population: Vale do Taquari, State of Rio Grande do Sul (Brazil). *Ciencia & saude coletiva*, 16(8), 3519-3528.





# Yoğunluk Fonksiyoneli Teorisi ile LiAlSi'un Basınç Altında Elektronik ve Titreşim Özellikleri

Sinem Erden Gülebağlan<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Van Yüzüncüyıl Üniversitesi, Van Meslek Yüksekokulu Elektrik ve Enerji Bölümü, Van, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9446-2211)

(İlk Geliş Tarihi 1 Aralık 2019 ve Kabul Tarihi 31 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.629144)

**ATIF/REFERENCE:** Erden Gülebağlan, S. (2019). Yoğunluk Fonksiyoneli Teorisi ile LiAlSi'un Basınç Altında Elektronik ve Titreşim Özellikleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1340-1346.

## Öz

Li içeren malzemeler teknolojinin gelişmesinde önemli yere sahiptirler. Bu nedenle Li içeren kristallerin yapısal elektronik ve dinamik özelliklerinin bilinmesi önemlidir. LiAlSi kristalinin yapısal, elektronik ve örgü dinamik özellikleri, ab-initio psödotensiyel metodu ve Genel Gradyent Yaklaşımı ile doğrusal bir tepki ile gerçekleştirilmiştir. LiAlSi kristali Zincblende yapıda olup uzay grubu  $F\bar{4}3m$ 'dir. LiAlSi kristalinin örgü parametresi 6.0306 Å olarak bulunmuştur. Hesaplanan örgü parametresi, yığın modülü ve yığın modülünün birinci dereceden basınca göre türevi, deneysel ve diğer teorik hesaplamalar ile uyumludur. Elektronik band yapısı ve fonon dağılım eğrisi, Quantum Espresso programı kullanılarak analiz edilmiştir. Fonon dağılım eğrisi ve fonon durumların yoğunluğu, yoğunluk fonksiyonel pertürbasyon teorisi ile hesaplanmıştır. Fonon frekans değerleri pozitif olduğundan LiAlSi kristali kararlı yapıdadır. Daha sonra P= 8.892 GPa basınç altında elektronik band yapısı ve fonon dağılım eğrisi incelenmiştir. P=0.0 GPa basınçta LiAlSi kristali yarıiletken özelliği gösterirken P= 8.892 GPa basınç uygulandığında iletken özelliği gösterdiği ortaya konmuştur. Bu basınç değerinde de fonon frekans değerleri pozitifdir. Ayrıca iki farklı basınç altında (P=0.0 GPa ve P=8.892 GPa)  $\Gamma$ , X ve L yüksek simetri noktalarındaki enine, boyuna akustik ve enine, boyuna optik mod değerleri listelenmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarının literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** LiAlSi, Elektronik özellikler, Titreşim özellikleri, Yoğunluk Fonksiyoneli Teorisi.

## Electronic and Vibrational Properties of LiAlSi under Pressure: A Density Functional Theory

### Abstract

Li containing materials have an important place in the development of technology. Therefore, knowledge of the structural and dynamic properties of electronic Li-containing crystals is important. The structural, electronic and lattice dynamic properties of LiAlSi crystal was performed by an ab-initio pseudopotential method and a linear response with the General Gradient Approximation. LiAlSi crystal is in Zincblende structure and the space group is  $F\bar{4}3m$ . The lattice parameter of LiAlSi crystal was 6.0306 Å. The computed lattice parameter, bulk modulus and first-order derivation with respect to pressure of the bulk modulus agree well with the experimental and other theoretical calculations. The electronic band structure and phonon dispersion curve were analyzed by using the Quantum Espresso program. Phonon dispersion curve and phonon density of states were calculated by a density functional perturbation theory. Since the phonon frequency values are positive, the LiAlSi crystal is stable. Then, electronic band structure and phonon distribution curve under P= 8.892 GPa pressure were examined. LiAlSi crystal showed semiconductor properties at P = 0.0 GPa pressure, whereas P = 8.892 GPa pressure showed semi-metal properties. At this pressure, the phonon frequency values are also positive. In addition, transverse, longitudinal acoustic and transverse, longitudinal optical mode values at high symmetry points  $\Gamma$ , X and L under two different pressures (P = 0.0 GPa and P = 8.892 GPa) are listed. It is thought that the results of this study will contribute to the literature.

**Keywords:** LiAlSi, Electronic properties, Vibrational properties, Density Functional Theory.

\* Sorumlu Yazar: Van Yüzüncüyıl Üniversitesi, Van Meslek Yüksekokulu Elektrik ve Enerji Bölümü, Van, Türkiye, ORCID: 0000-0001-9446-2211, sinemerdengulebaglan@yyu.edu.tr

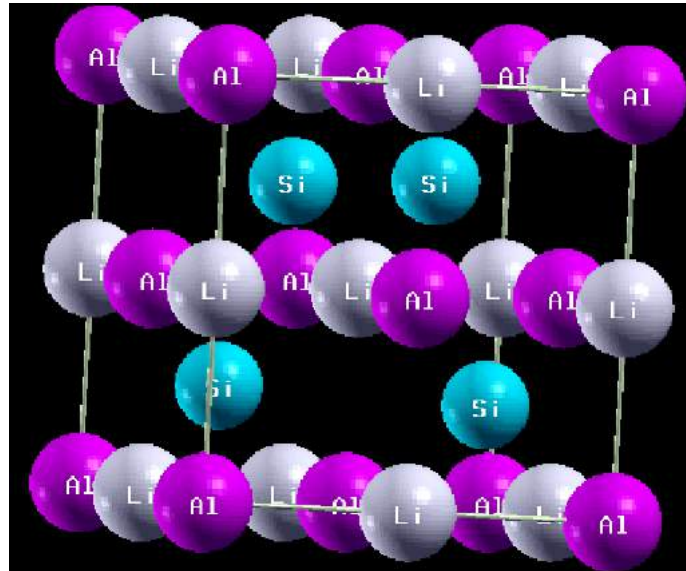
## 1. Giriş

Half- Heusler bileşikler termoelektrik, spintronik, optoelektronik malzeme üretiminde umut verici malzemelerdir (Kandpal ve diğ., 2006). Bu bileşikler ayarlanabilir enerji band aralıkları ve farklı elektronegatiflik özelliklerine sahiplerdir. Lityum orta derecedeki elektronegatif elementler ile kolayca bileşik oluşturmaktadırlar. Lityum tabanlı Half-Heusler bileşikleri geniş direkt ve indirekt band aralıklarına sahiptirler. Half-Heusler yapısı Li-dolu Zincblende yapısı olarak görülebilir (Casper ve diğ., 2012).

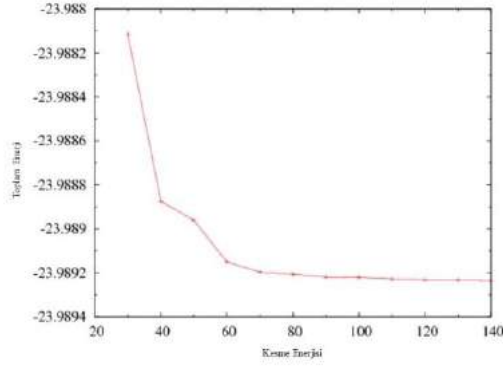
LiAlSi kristali için ilk araştırma Boom ve arkadaşları (1949) tarafından gerçekleştirilmiştir. Tillard ve arkadaşları (2005) Lityum-Alüminyum Silikondan oluşan en az dört bileşiğin var olduğunu ortaya koymuş ve bu bileşiklerin kristal yapılarını X-ışını analizinden yararlanarak incelemiştir. Tillard ve arkadaşları kristal yapılarını belirledikleri LiAlSi, Li<sub>5</sub>AlSi<sub>2</sub> ve Li<sub>9</sub>AlSi<sub>3</sub> kristallerini kullanarak Li/Li<sub>x</sub>Al<sub>y</sub>Si<sub>3</sub> elektrokimyasal hücrelerin galvanostik döngüsünden elde edilen sonuçları bildirmişlerdir. Ayrıca Yoğunluk Fonksiyoneli Teorisi ile bu bileşiklerin enerji stabilitesini ve elektronik yapılarını incelemiştir. Barth ve arkadaşları (2010) I-III-IV tabanlı LiAlSi ve LiAlGe Half- Heusler bileşiklerini deneysel olarak çalışarak bu bileşiklerin termoelektrik parametrelerini araştırmışlardır. 400 Kelvin de LiAlSi için Seeback katsayısını 160 VK<sup>-1</sup> olarak bulmuşlardır. Nowotny ve arkadaşları (1960) X-ışını kırınımı yöntemiyle LiAlSi kristali örgü parametresinin  $a_{LiAlSi}=5.94 \text{ \AA}$  ve uzay grubunun  $F\bar{4}3m$  olduğunu bulmuşlardır. Spina ve arkadaşları (2003) LiAlSi, Li<sub>7</sub>Al<sub>3</sub>Si<sub>4</sub>, Li<sub>18</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>6</sub>, Li<sub>15</sub>Al<sub>3</sub>Si<sub>6</sub> yapılarını X ışını kırınımı yöntemiyle incelemiştir. LiAlSi için Schuster ve arkadaşları (1976) da deneysel çalışma gerçekleştirmiş olup örgü parametresini  $5.93 \text{ \AA}$  olarak bulup, atomların koordinatlarını Li (1/2 1/2 1/2 ), Al (0 0 0), Si (1/4 1/4 1/4 ) olarak tespit etmişlerdir. Bu atomik koordinatlar ile oluşturulmuş LiAlSi yapısının prototipi Şekil 1 de çizilmiştir. Hesaplamalar bu atomik koordinatlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

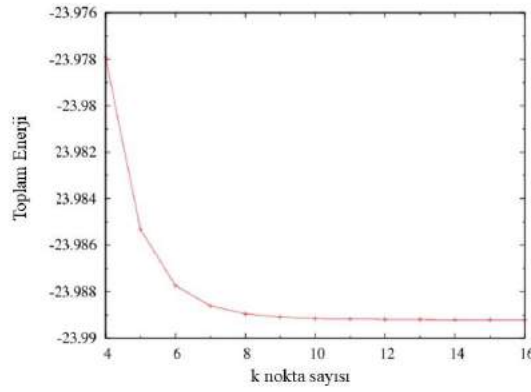
Yoğunluk Fonksiyoneli Teorisinin Genel Gradyent Yaklaşımı kullanılarak LiAlSi kristali için yapısal, elektronik ve dinamik özellikler incelenmiştir. Bu hesaplamalar için Quantum Espresso (Baroni ve diğ.,) paket programı kullanılmıştır. Değiş tokuş korelasyon enerjisi Genel Gradyent Yaklaşımı (Perdew ve diğ., 1996) içinde Perdew-Burke-Ernzerhof parametreleştirmesi kullanılarak tanımlanmıştır. Dalga fonksiyonları 80 Ryd'lik kesme enerjisi ile düzlem dalga temelinde genişletilmiştir. Şekil 2'de farklı kesme enerjilerine karşılık gelen toplam enerji değerleri gösterilmiştir. Tablo 1 de de 20, 40, 60, 80 ve 100 Ryd kesme enerjisi değerlerine karşılık gelen toplam enerji değerleri listelenmiştir. Elektronik yük yoğunluğu için kesme enerjisi 320 Ryd olarak alınmıştır.



Şekil 1. LiAlSi kristalinin prototipi.



Şekil 2. LiAlSi kristali için kesme enerjisine karşılık gelen toplam enerji değeri.

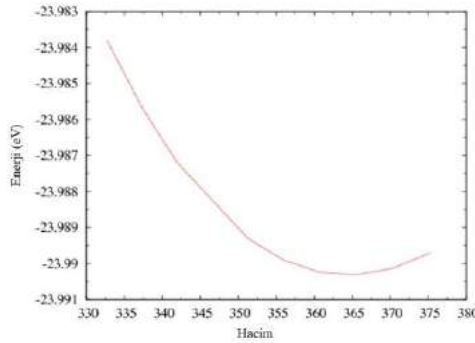


Şekil 3. LiAlSi kristali için k nokta sayısına karşılık hesaplanan toplam enerji değeri.

Tablo1. LiAlSi kristali için kesme enerjileri ve kesme enerjilerine karşılık gelen taban durum enerjileri.

$E_{cut}$ (Ryd)	20	40	60	80	100
$E_0$ (Ryd)	-23.9881	-23.9888	-23.9892	-23.9892	-23.9892

LiAlSi kristalinin yapısal ve elektronik parametrelerini belirlemek için k-noktaları 12x12x12 olarak kullanılmıştır. Şekil 3 de LiAlSi kristalinin k nokta sayısına bağlı olarak değişen toplam enerji değerleri görülmektedir. LiAlSi kristalinin kendinden tutarlı Kohn-Sham denklemlerinin (Kohn ve Sham, 1965) çözümleri elde edildikten sonra dinamik özellikleri yoğunluk fonksiyoneli pertürbasyon teorisi ile hesaplanmıştır. Brillouin bölgesinde 4x4x4'lük q-noktaları (Monkhorst ve Pack, 1965) ile LiAlSi kristali için dinamik matrisler belirlenmiştir. Bu hesaplamalar yapılırken  $10^{-8}$  Ryd olacak şekilde gerçekleştirilerek hassas hesaplamaların yapılmasına özen gösterilmiştir.



Şekil 4. LiAlSi kristali için hacim-toplam enerji bağıllığı

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

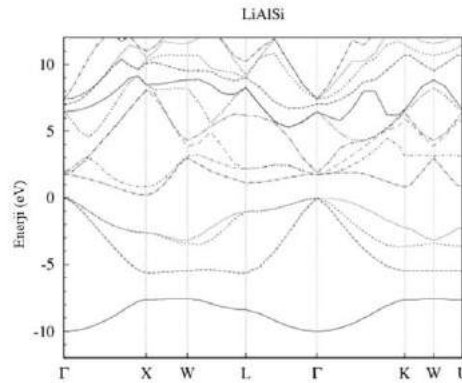
Bir malzemenin kararlılığı ve örgü parametresi ( $a$  (Å)), yığın modülü ( $B$  (GPa)), yığın modülünün basınca göre birinci türevi ( $B'$ ) gibi fiziksel özellikleri o malzemenin toplam enerjisi ile belirlenir. Bu sebeple LiAlSi kristalinin toplam enerjisi düzlem dalga psödopotansiyeller kullanılarak hacmin bir fonksiyonu olarak hesaplanmıştır. Şekil 4 de LiAlSi kristali için hacme bağlı toplam enerji değerleri çizilmiştir. LiAlSi kristalinin hacmin bir fonksiyonu olarak toplam enerjileri genel gradyent yaklaşımı kullanılarak belirlenip örgü parametresi, yığın modülü ve yığın modülünün basınca göre birinci türevi aşağıdaki denklemde gösterilmiş olan Birch-Murnaghan denklemine (Murnaghan, 1944) fit edilerek tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar teorik ve deneysel sonuçlar ile uyum içerisindedir. Tablo 2'de bu sonuçlar sıralanmıştır.

$$E(V) = E_0 + V_0 B_0 \left( \frac{9}{16} \left( \left( \frac{V_0}{V} \right)^{\frac{2}{3}} - 1 \right)^3 B'_0 + \frac{9}{16} \left( \left( \frac{V_0}{V} \right)^{\frac{2}{3}} - 1 \right)^2 (6 - 4 \left( \frac{V_0}{V} \right)^{\frac{2}{3}}) \right) \quad (1)$$

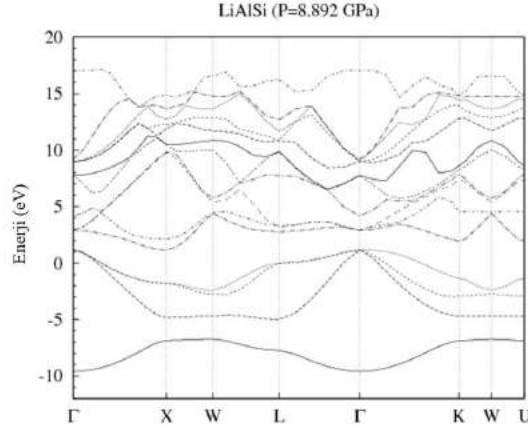
Tablo 2. Hesaplanan örgü parametresi, yığın modülü ve yığın modülünün basınca göre birinci türevi.

a (Å)	B (GPa)	$B'$
6.0306 [Bu çalışma]	60.66	4.44
5.9105 (Shan ve diğ., 2018)	65.28	5.00
5.9220 (Backelmann ve Schuster, 1974)		
5.9280 (Spina ve diğ., 2003)		
5.9370 (Kandpal ve diğ., 2006)		
6.0200 (Kacimi ve diğ., 2014)		

Kristal yapılar için elektronik band yapısının bilinmesi önemlidir. Hesaplanan örgü sabiti kullanılarak LiAlSi kristalinin elektronik band yapısı incelenmiştir. Bu incelemede  $\Gamma \rightarrow X \rightarrow W \rightarrow L \rightarrow \Gamma \rightarrow K \rightarrow W \rightarrow U$  yüksek simetri noktaları boyunca yapılmış olup, Brillouin bölgesinde 104  $k$  noktası ile elektronik band yapısı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar gösterdi ki LiAlSi kristali  $P=0.0$  GPa basınç altında yarıiletken özelliği göstermektedir. Şekil 5 de LiAlSi kristalinin elektronik band yapısı görülmektedir. Elektronik band aralığı 0.40 eV olup  $\Gamma$ -X indirekt band şeklindedir. Literatürdeki diğer teorik sonuçlar ile uyum içindedir. [1, 14] LiAlSi kristalinin elektronik band yapısı incelenecek olursa hem valans hem de iletim durumlarının dağılımı açık şekilde görülmektedir. Valans dağılımına bakıldığında 0.0 eV ile yaklaşık -6 eV enerji aralığına lokalize olduğu, iletim band dağılımına bakıldığında  $\Gamma$  noktasında ~1.8 eV, X noktasında ~0.5 eV şeklinde lokalize olduğu görülmektedir.  $P=8.892$  GPa basınç uygulandığında ise elektronik band aralığı -0.0082 eV olduğu bulunmuştur. Sıfıra çok çok yakın olan elektronik band aralığı yaklaşık 0.0 eV kabul edilebilir. Böylelikle  $P=0.0$  GPa basınç altında yarıiletken özelliği gösteren LiAlSi kristali  $P=8.892$  GPa basınç altında iletken özelliği göstermektedir.  $P=8.892$  GPa basınç altında LiAlSi kristalinin elektronik band yapısı Şekil 6 de gösterilmiştir.



Şekil 5. LiAlSi kristalinin  $P=0.0$  GPa basınç altında elektronik band yapısı.

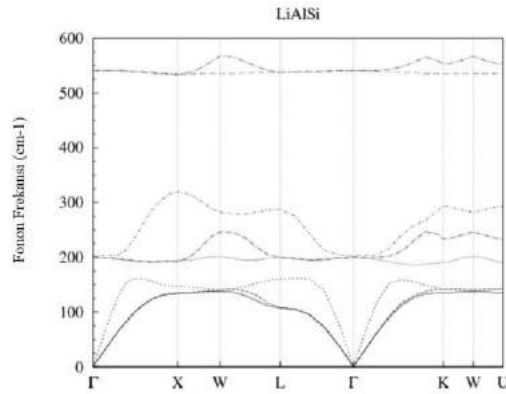


Şekil 6. LiAlSi kristalinin  $P=8.892$  GPa basınç altında elektronik band yapısı.

Tablo 3. LiAlSi kristali için  $P= 0.0$  GPa ve  $P= 8.892$  GPa basınç altında enerji aralıkları.

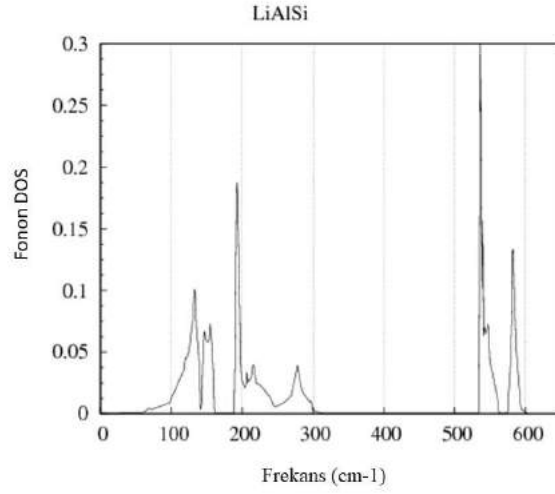
P (GPa)	$E_{\Gamma-\Gamma}$ (eV)	$E_{\Gamma-X}$ (eV)	$E_{\Gamma-L}$ (eV)
0.0	~1.8	~0.4	~1.5
8.892	~2.0	~0.0	~1.9

İkinci olarak kübik yapıda ve  $F\bar{4}3m$  uzay grubuna ait LiAlSi kristalinin fonon dağılım eğrisi ve fonon durum yoğunluğu incelenmiştir. LiAlSi kristalinin birim hücrelerinde 3 atom bulunduğundan dolayı 9 adet fonon modu bulunmaktadır. Bunlardan 3'ü akustik mod ve 6 tanesi optik moddur. Akustik ve optik modlar, sırasıyla uzunlamasına akustik (LA), uzunlamasına optik (LO), enine akustik (TA) ve enine optik (TO) modlar olarak verilir. Şekil 7'de LiAlSi kristalinin  $P=0.0$  GPa basınç altındaki fonon dağılımı ve Şekil 8'de fonon durum yoğunluğu verilmektedir. Fonon modlar 0 ile  $575 \text{ cm}^{-1}$  arasında dağılım göstermektedir. Akustik ve optik modlar arasında bir aralık vardır. Ayrıca fonon frekans değerleri negatif değeri almadığından LiAlSi kristalinin  $P=0.0$  GPa basınç altında kararlı olduğu ifade edilebilir.  $8.892$  GPa değerinde basınç uygulandığında fonon dağılım eğrisi Şekil 9'da ve  $8.892$  GPa basınç altındaki fonon durum yoğunluğu ise Şekil 10'da verilmiştir. Bu basınç altında elde edilen fonon dağılım eğrisi incelendiğinde fonon frekans değerlerinin pozitif değerler aldığı görülmektedir. Bu da  $P= 8.892$  GPa basınç altında da LiAlSi kristalinin kararlı olduğu bilgisinin verir. Yani LiAlSi kristali  $8.892$  GPa basınç altında kararlılığı korunmakta ancak elektronik özellikleri değişmektedir.

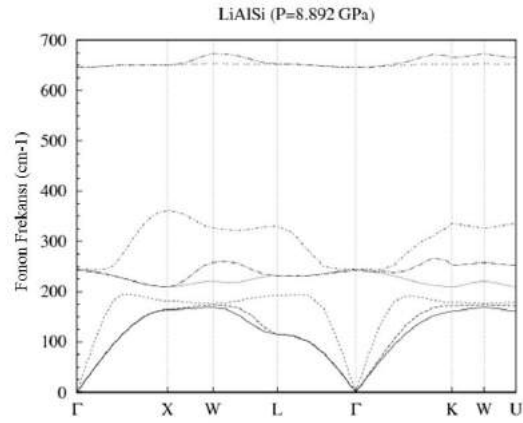


Şekil 7. LiAlSi kristalinin  $P=0.0$  GPa basınç altında fonon dağılım eğrisi.

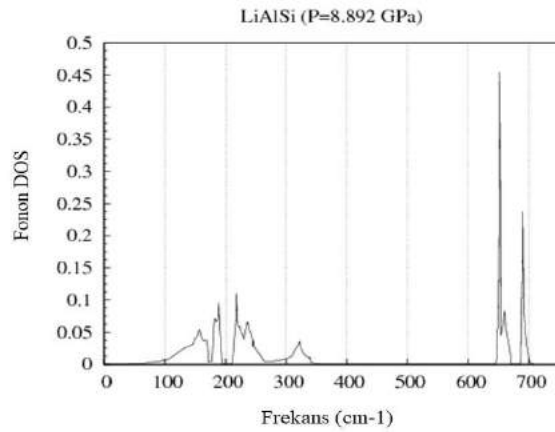




Şekil 8. LiAlSi kristalinin  $P=0.0$  GPa basınç altında fonon durum yoğunluğu.



Şekil 9. LiAlSi kristalinin  $P=8.892$  GPa basınç altında fonon dağılım eğrisi.



Şekil 10. LiAlSi kristalinin  $P=8.892$  GPa basınç altında fonon durum yoğunluğu.

## 4. Sonuç

Bu çalışmada LiAlSi kristalinin yapısal, elektronik ve titreşim özellikleri incelenmiştir. Quantum Espresso programı kullanılarak Yoğunluk Fonksiyoneli Teorisi Genel Gradyent Yaklaşımı ile örgü parametresi, yığın modülü ve yığın modülünün basınca göre birinci türevi hesaplanmıştır. Daha sonra elektronik band aralığı hesaplanarak LiAlSi kristalinin P=0.0 GPa basınç altında yarıiletken özelliği gösterdiği bulunmuştur. P= 8.892 GPa basınç uygulandığında ise LiAlSi kristali iletken özelliği gösterdiği ortaya konmuştur. P=0.0 GPa ve P= 8.892 GPa basınç değerlerindeki fonon dağılım eğrileri elde edilmiştir. Elde edilen bu bulguları literatürde karşılaştıracak çalışmalar bulunmamaktadır. Bu çalışma bulgularının geleceğe ışık tutacağı düşünülmektedir.

## Kaynakça

- Kandpal, H. C., Felser, C., Seshadri, R. (2006). Covalent bonding and the nature of band gaps in some half-Heusler compounds. *J. Phys. D.:Appl. Phys.* 39, 776-785. <https://doi.org/10.1088/0022-3727/39/5/S02>
- Casper, F., Grof, T., Chadov, S., Balke, B., Felser, C. (2012). Half-Heusler compounds: novel materials for energy and spintronic applications. *Semicond. Sci. Technol.* 27, 063001/1-8. <https://doi.org/10.1088/0268-1242/27/6/063001>
- Boom, E. (1949). *Doklady Akademii Nauk SSSR* 645-646.
- Tillard, M., Belin, C., Spina, L., Jia, Y. Z. (2005). Phase stabilities electronic and electrochemical properties of compounds in the Li-Al-Si system. *Solid States Science* 7, 1125-1134. <https://doi.org/10.1016/j.solidstatesciences.2005.04.010>
- Barth, J., Fecher, G. H., Schwind, M., Beleanu, A., Felser, C., Shkabko, A., Weidenkaff, A., Hass, J., Reller, A., Köhne, M. (2010). Investigation of the Thermoelectric Properties of LiAl Si and LiAlGe. *Journal of Electronic Materials*, 39(9), 1856-1860. DOI: [10.1007/s11664-010-1076-9](https://doi.org/10.1007/s11664-010-1076-9)
- Nowotny, H., Holub, F. (1960). Untersuchungen an metallischen Systemen mit Flußspatphasen. *Mon. Für Chem. Verwandte-Teil. und Wiss.* 91, 877-887. <https://doi.org/10.1007/BF00929560>
- Spina, I., Jia, Y. Z., Ducourant, B., Tillard, M., Belin, C. (2003). Optoelectronic and transport properties of LiBZ (B= Al, In, Ga and Z= Si, Ge, Sn) semiconductors. *Z. Für Krist.-Cryst. Matter*, 218, 740-746. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2017.12.014>
- Schuster, H. U., Hinterkeuser, H. W., Schafer, W., Will, G. (1976). Investigation on Neutron Diffraction of the Phases LiAlSi and LiAlGe, *Z. Naturforsch.* 316, 1540-1541.
- Baroni, S., Corso, A. D., de Gironcoli, S., Giannozzi P. <http://www.pwscf.org>
- Perdew, J. P., Burke, K., Ernzerhof, M. (1996). Generalized gradient approximation made simple. *Physical Review Letters*, 77, 3865-3868. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.77.3865>
- Kohn, W., Sham, L. J. (1965). Self-Consistent Equations Including Exchange and Correlation Effects. *Physical Review*, 140, 1133-1138. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRev.140.A1133>
- Monkhorst, H. J., Pack, J. D. (1976). Special points for Brillouin-zone integrations. *Physical Review B*, 13, 5188-5192. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.13.5188>
- Murnaghan, F. D. (1944). The compressibility of media under extreme pressure. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 30(9), 244-247. doi: [10.1073 / pnas.30.9.244](https://doi.org/10.1073/pnas.30.9.244)
- Shan, S. H., Khan, S. H., Lafer, A., Murtaza, G. (2018). Optoelectronic and transport properties of LiBZ (B: Al, In, Ga and Z: Si, Ge, Sn) semiconductors. *Journal of Solid State Chemistry* 258, 800-808. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2017.12.014>
- Backelmann, W., Schuster, H. U. (1974). Ternäre Phasen im Dreistoffsystem Lithium - Gallium - Germanium. *Z. Für Anorg. Allg. Chem.* 410, 233-240. <https://doi.org/10.1002/zaac.19744100303>
- Kacimi, S., Mehnane, H., Zaoui, A. (2014). I-II-V and I-III-IV half-Heusler compounds for optoelectronic applications: Comparative ab initio study. *J. Alloy. Compd.* 587, 451-458. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2013.10.046>



# Perception Regarding Ethical Rules Implemented in the Context of Corporate Governance: A Study in Banking Sector

Esin Benhur Aktürk<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Istanbul Aydin University, Istanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5756-1042)

(First received 13 November 2019 and in final form 31 December 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.643744)

**ATIF/REFERENCE:** Aktürk, E. B. (2019). Perception Regarding Ethical Rules Implemented in the Context of Corporate Governance: A Study in Banking Sector. *European Journal of Science and Technology*, (17), 1347-1356.

## Abstract

**Purpose** - Ethics, which constitute the behaviors that should be abided by or avoided by parties, are all material and non-material factors that include social, cultural, economic and scientific values that are the basis for inter-personal relationships, and are a discipline that deal with behavioral norms and rules such as correct or wrong, good or bad, which people have to abide by. In this regard, the purpose of this study is to demonstrate business ethics in corporate governance and assessment of the need for business ethics, ethical leader and ethical behaviors relationship in corporate governance, explanation of organizational ethical climate and its impacts on workers as well as perception of workers in banking sector regarding the ethical rules implemented in the context of corporate governance and the impacts of such rules.

**Methodology**- In this study, questionnaire method was used as data collection method and ten demographical questions as well as nine questions regarding ten ethical leadership scales, eleven ethical climate scales and five non-ethical behavior scales were asked in the questionnaire. This study is a relational screening model that reviews the relations among two different situations that can affect each other in terms of several variables. **Findings**- There were no statistically significant differences in terms of "ethical leadership" scale scores between males and females in this study and there was a significant difference in terms of "ethical leadership" and "ethical climate" between married and single individuals observed. The desire of married individuals to work in a more stable environment and tend to be less risky also lead to the valuing of ethical leadership and ethical climate. When we look at educational status and education areas, there was a statistically significant difference between "ethical leadership" and "ethical climate" scale scores.

**Conclusion**- This study is a guide and it will play a role and contribute to institutions in determining their own ethics and spreading this ethics to the personnel working at bank through training to be given to employees of the institution. It is foreseen that the banking structure, which is a growing and spreading system, can develop even more with the ethical rules internalized by the employees in addition to the the written ethical rules, which can affect the business loyalty and motivation of the employees in the bank.

**Keywords:** Ethical, Ethical Leadership, Ethical Climate, Corporate Governance, Ethical Rules.

## 1. Introduction

Ethics, which constitute the behaviors that should be abided by or avoided by parties, are all material and non-material factors that include social, cultural, economic and scientific values that are the basis for inter-personal relationships, and are a discipline that deal with behavioral norms and rules such as correct or wrong, good or bad, which people have to abide by. In organizations, the legislations, regulations and other administrative elements that are already in effect sometimes may be inadequate for defining the administrative operation of the organizations. Ethical codes are used for resolving problems that could be encountered in such cases, and they also carry great importance for establishing the cultural structure. An ethical leader, who embodies the ethical qualities and who could ensure that the people around him behave in accordance with such ethical values, is needed to establish the cultural structure and great responsibility is conferred on ethical leaders with regards to ensuring order. The elements that reveal a leader explain why that leader

\* Corresponding Author: Istanbul Aydin University, Istanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5756-1042), [esinakturk@aydin.edu.tr](mailto:esinakturk@aydin.edu.tr)

is essentially there. When leadership is discussed, primarily administratorship is addressed and whether the individuals at administrative positions possess leadership qualities is discussed. With regards to this, it cannot be expected from every administrator to carry leader qualities, however one should possess leader qualities if one is to become a good administrator. Any statement that could be made related with necessity towards ethical values in the social life similarly applies for work life. The reason for this is that in the absence of ethical values, one would be faced with certain risks with regards to both business processes and business continuity. The purpose of the study is to evaluate business ethics in corporate governance and the requirement for business ethics, to explain the relationship between ethical leader and ethical conduct in corporate governance, organizational ethics climate and its influence on the employees, as well as to reveal the banking sector employees' perception of ethical rules implemented within the frame of organizational management and the effects of such perception. The study covers banking institutions operating in İstanbul Province Şişli district. The permits required for the study were obtained from the firm operating in the Şişli region and the survey study was carried out. Many of the employees rejected participating in the study with the excuse that they were too busy. No information that would reflect the participants' personal characteristics or the firm identity was present on the survey form prepared for the study. It cannot be said that the results obtained from the study concern the entirety of service businesses. The study's participants rejecting to fill survey forms because they were too busy constituted a restriction for the study.

## **2. Business Ethics, Ethical Leadership and Organizational Ethics Climate in Corporate Governance**

### **2.1. The Ethics**

Ethics fundamentally and principally conceptualizes the problems regarding behaviour types and rules that people are obliged to comply with. Accordingly it goes beyond which of the tangible elements are correct and which are required and then illustrates the universally consented rules and based on these rules provides guidance regarding which have priority. Any decision on the correctness of an issue is made within the frame of ethical values (Acar, A., 2013:5-31). Ateş and Oral (2003), state that historically the notion of ethics was mostly associated with politics and the focus was on the morals of the leader (Akdoğan ve Demirtaş, 2014:107-123). Ethics are the moral principles that defined new rules in order to create a life style which embodies all outstanding attributes that could be designed by thought providing alternatives to the entirety of material and moral elements that encompass the exiting social, cultural, economic and scientific values and examines the lifestyles of people which was accepted as the requirement of a the period they were in, in order to find and show the right and wrong aspects (Ateş ve Oral, 2003:55-71). Ethics, which constitute the behaviors that should be abided by or avoided by parties, are all material and non-material factors that include social, cultural, economic and scientific values that are the basis for inter-personal relationships, and are a discipline that deal with behavioral norms and rules such as correct or wrong, good or bad, which people have to abide by. Ethics is a field that investigates the whole of material and moral elements which include the social, cultural, economic and scientific values by getting to the core and handles the problems associated with the value judgments of people in the social life (Aydın, 2016:300). Accordingly, the ethics phenomenon is firstly established by studying the expected and aimed lifestyle and on how to behave in a macro scale, what should happen and the what material and moral elements which include the social, cultural, economic and scientific values which should be observed should be. The importance of ethics in man's social life with respect to social status is undeniable. Wherever the society has placed ethics, its reflection on individuals will be in that way, too (Aykanat, 2010:100).

### **2.2 Business Ethics in Corporate Governance**

Eren (2012) emphasizes the applicability of the entire range of behaviors to be avoided or avoided in the framework of corporate governance, personal moral values, the applicability of activities to the activities and objectives of commercial organizations and emphasizes that their values in relation to each other in the organization express their moral (Barnett ve Schubert, 2002:279-290). Leaning towards business ethics is an opportunity both for the wage earners and as well as the organizations. Wage earners and organizations must strive to implement the values accepted as humanitarian values in their business lives. This is the only way through which knowledge can be gained regarding the whole of behaviors which the professions must abide by or avoid within the frame of corporate governance (Brown, Trevino and Harrison, 2005:117-134). Universal values related with business life are needed due to the business life growing volume-wise like never seen before, the wage earners' demographic structure exceeding the controllable diversity levels, international organizations' rapidly multiplying and similar reasons. The factors that supported the coming into prominence of the topic of the whole of behaviors that professions require to abide by or avoid within the frame of corporate governance which gained importance particularly after 1990's are; The social responsibility approach that developed with public pressure, correct business can be done only by taking ethical values into account, ethical knowledge is needed to solve problems, the requirement for loyalty towards the whole of behaviors that professions require to abide by or avoid within the frame of corporate governance for successful administrative processes and the requirement to balance various beneficiary circles in business life and other similar factors. Individuals not being able to find a place to work in the fields they are talented in; the capitalist system's primary disposition of doing more work with less personnel and the existence of a populace that cannot find a place to work due to rapidly increasing world population and for which no new work fields are created, are important factors for the necessity of corporate business ethics. If working areas are not created for people to allow them to meet both their personal and their family's needs, they are sure to divert to illegal means in order to meet their requirements. This will pose a serious problem both to the business world as well as for the society (Byrne, 1989:200).

### **2.3 Ethical Leadership in Corporate Governance**

The process of an individual influencing another individual's behavior and directing another individual's behavior, within certain conditions in order to achieve individual or corporate targets is called leadership. The leader is able to internalize different styles while fulfilling responsibilities. Leadership, considering its meaning, essentially expresses the position an individual takes. Leadership can be accepted as a function with respect to meeting individual and social requirements (Demirdağ ve Ekmekçioğlu, 2015:197-216). An

ethical leader is an individual who is fair, values individuals and social circles behaves according to principles and both in private life and in business life behaves according to the whole of behaviors which the professions must abide by or avoid within the frame of corporate governance, and ensures that the wage earners he leads behave ethically (Doğan ve Kılıç,2014:103-132). Brown, Trevino and Harrison (2005) have indicated that ethical leadership have appropriate rules for personal actions and inter-personal relationships and emphasized that it is about shedding light on human resources through communication, encouragement and decision making (Eren,2012:100). Brown et al. (2005) have emphasized one of the characteristic qualities of ethical leadership and asserted that the personal behavior and human relationships of the ethical leader are congruent. Brown et al. propounded that leaders complying with the whole of behaviors which the professions must abide by or avoid within the frame of corporate governance had four fundamental qualities and emphasized these qualities as; honesty, trustworthiness, fairness and compassion. Accordingly, it becomes evident that the two fundamental virtues that form the basis of a leadership that is compatible with the whole of behaviors which the professions must abide by or avoid within the frame of corporate governance, are justice and morality. The most important responsibility of the ethical leaders in Corporate Governance is to give the ethical messages at the work place in a clear and comprehensible manner. The more transparent and fair a leader is, the more the ethics perception in corporate governance develops(Eren,2012:100). Murphy and Enderle (1995) have conducted a comprehensive study aimed at determining the characteristics of the leader, taking into consideration the leadership characteristics of 4 well-known top managers and have presented the characteristics of ethical leadership. They emphasized that first of all the ethical leader acted as a lens and exactly reflected whatever was the case and secondly the ethical leader allowed for intelligent awareness through his behavior and also took his influence on other people into consideration. Thirdly they emphasize that the ethic leader exhibits top level virtue ethics and behaves fairly and artlessly both in professional and personal life. Finally, they express that the Ethical Leader directs others with value and justice since he believes it is the right thing to do (Kline,2011:120)

#### **2.4. Organizational Ethics Climate in Corporate Governance**

Facing global expansion and growth over what is expected, caused by the change in the economic world, renders business ethics more important. The ethical perception within the organization determines the climate structure which conforms to the whole behaviors that should be obeyed or avoided by the profession branches in the framework of corporate governance that composed of the institutionalized guiding principles and norms of the institution. This situation, which has a significant effect on decision-making processes, also contributes to the development of ethical considerations of the staff (Murphy and Enderle,1995:117-128)

The support of ethical practices in provision of the confidence atmosphere is returning to the institutions as an advantage. Within the frame of corporate governance, they have a network of trust consisting of staff, managers, stakeholders and target groups who have values that are consistent with the behaviors that must be obeyed or avoided by the profession. Within the frame of corporate governance, they have a network of trust consisting of staff, managers, stakeholders and target groups who have values that are consistent with the whole behaviors that must be obeyed or avoided by the profession branches. Institutional climate is the behaviors expected from the staff, supported and rewarded as a result of success in parallel with the ethical and moral values. In organizations, different understandings such as democratic, authoritarian, reliable or unreliable, preventive or supportive, work- or personnel-oriented and so on can be evaluated differently by every employee within the functioning of the institution and reflect a fairly natural process While the institution develops its own climate, it takes into consideration the ethical elements and indicates the attitudes expected by it from each institution member in terms of it feasibility. In this context, the climate consistent with the whole behaviors that must be respected or avoided by the professional branches in the framework of effective corporate governance established by senior executives within the organization and perceived positively by the staff, affects the performance positively by promoting the emotional tendency towards the role of the personnel in their job(Özgener,2002:175-199) Minimizing the stress levels of employees and performance increase in work satisfaction through morale and motivation also reflect positively to efficiencies of the working groups they are involved in. While this situation directly affects performance of the institution, efficiency increases on a direct proportional basis. Modern organizations adopt management understandings to combine their ethical understanding with corporate practices. In corporate governance, especially in the recent period, the tendency in creating an ethical also caused increase in factors such as motivation of staff, job satisfaction etc. and aids of the ethical environment for discipline of employees and creation of a fair environment reached a level that cannot be denied.

### **3. Methodology**

Since we can not reach the net number of people working in the banking sector in Turkey, we have chosen a sampling calculation with unknown universe when calculating the sample size. Accordingly, in order to work with a 5% error margin with the unknown universe, 302 subjects have to be interviewed. However, considering that some subjects would be discarded due to some of the questionnaires not being of the quality desired, a sample consisting of 310 subjects was used. As a result of a final sorting and discarding of incorrect questionnaires, the analysis was carried out on 300 questionnaires. Therefore, the sample of our study consisting of 300 subjects includes a  $\pm 5\%$  error margin in the 90% confidence interval, and is of a level which can represent the total population of workers in the banking industry in Turkey. In the survey, bank employees were selected by simple random sampling method.

#### **3.1. Ethical Leadership Scale , Business Ethical Climate Scale and Non-Ethical Behavior Scale**

10-item scale developed by Brown et al. in 2005 was used to measure ethical leadership. The appropriateness, validity and reliability in Turkish language and removing the misunderstandings arising from the cultural differences of the scale was carried out in 2012 by Tuna, Bircan and Yeşiltaş. As a result of the validity study, a one-factor structure in accordance with the original form of the scale was created(Pettijohn,2008:547-557).

The ethical climate was assessed by a 7-point scale developed by Schwepker et al. (1997) [16] based on the scale developed by Qualls and Puto in 1989. There is no reverse entry on the one dimensional scale. The scale is of 5 Likert type. The scale adapted to Turkish was used (Murphy and Enderle,1995:117-128). The anti-social behavior measurement questionnaire by Robinson and O'Leary in 1998 was used to measure unethical behaviors. Robinson and O'Leary-Kelly (1998) use the commonly used concept of antisocial  
*e-ISSN: 2148-2683*



behavior to describe negative behaviors in organizations. Antisocial behavior is known as the opposite of prosocial behavior. The questionnaire consists of 9 questions(Saygan,2013:1-23).

**3.2. Study Design and Model and Analysis of Study Data**

The study was created based on the relational screening model. The relational screening model is a research model that aims to determine the degree or presence of change between two or more variables.

Survey form data was transferred to SPSS 21.0 data analysis program and necessary analysis carried out. The descriptive statistics of the continuous variables included in the study are shown as mean, standard deviation, median, minimum and maximum values, and categorical variables as frequency and percentage. Normal distribution of continuous variables was investigated by Shapiro Wilk test. Mann Whitney U test was used for 2 group comparisons and Kruskal Wallis test was used for 3 and more group comparisons; while Mann Whitney U test with Bonferroni correction was used for 2 subgroup comparisons for meaningful variables. Comparisons with a p value below 0.05 were considered statistically significant in all statistical analysis in the study.

**3.3. Reliability Analysis of Scales**

As seen in the table below, the reliability level of the Ethical Leadership Scale (Cronbach's alpha = .901) is seen to be quite high. The Ethical Climate Questionnaire (Cronbach's alpha = .951) and the Ethical Behavior Questionnaire (Cronbach's alpha = .832) were found to have significantly higher "reliability" scores.

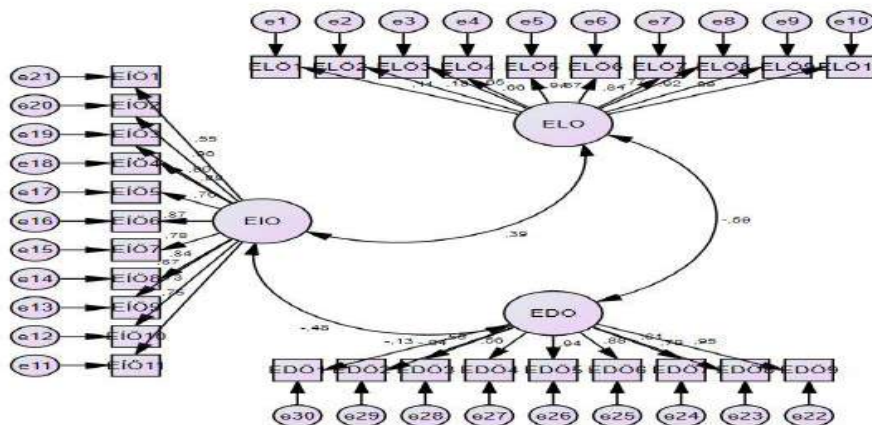
Table 1: Reliability Analysis of Scales

	Cronbach's Alpha	N of Items
Ethical Leadership Scale	,901	10
Ethical Climate Scale	,951	11
Unethical Behavior Scale	,832	9

**3.5. Structural Equation Model of the Study**

As a result of the analysis made,  $\chi^2 = 1197,114$  (df = 402, p <.001) value was obtained regarding the structure of 3 factorial scale consisting of 30 items. According to the results obtained, Chi square value is expected to be meaningless, but this value is very sensitive to the sample size and can often be found at significant levels in large sample groups. From this point of view, a calculation which is obtained from the fraction of the freedom degree of the Chi square ratio obtained as an alternative is suggested [18]. This ratio was found to be ( $\chi^2 / df = 2.98$ ) in the study. If this ratio is three or less, the model is a good model, and if it is five or less, it shows that the model has an acceptable adaptability [19]. The value obtained from this is an important proof that the model is an acceptable model. In addition, Goodness of Fit Index (GFI), Adjusted Goodness of Fit Index (CFI), Comperative Fit Index (CFI), Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA) and Standardized Root Mean Square Residual (SRMR) compliance indices were also calculated. Although the acceptability levels of the indicated compliance indices vary according to different authors, it is generally acceptable to have a GFI, AGFI and CFI of .90 and above, with RMSEA under .08 and SRMR under .10 [20]. The values obtained for the adjusted compliance indices in the study were calculated as GFI = .91, AGFI = .90, CFI = .92 and RMSEA = .056. These compliance index values show that the model is a good fit.

Figure 1: Structural Equation Model



## 4. Findings

### 4.1. Findings Related To Frequency Analysis

Survey form data to SPSS 21.0 data analysis program the necessary analyzes were made. Study included descriptive statistics on continuous variables, Standard deviation, median, minimum and maximum values, categorical variables with frequency and percentage It is shown. Normal distribution of continuous variables The suitability was examined by Shapiro Wilk test. Normal 2 groups of non-distributed variables Mann Whitney U test in comparison, 3 and more Kruskal Wallis test was used for group comparisons; subgroup comparisons for significant variables Mann Whitney U test with Bonferonni correction for used. In all statistical analyzes in the study Comparisons under 0.05 were statistically statistically considered significant.

Table 2: Participants' Demographic Characteristics

<b>Gender</b>	<b>f</b>	<b>%</b>	<b>Marital Status</b>	<b>f</b>	<b>%</b>
Female	158	52,7	Single	77	25,7
Male	142	47,3	Married	223	74,3
<b>Age</b>	<b>f</b>	<b>%</b>	<b>Education Status</b>	<b>f</b>	<b>%</b>
Under 30 Years	70	23,3	Degree	42	14,0
30- Between 40 Years	153	51,0	Degree	182	60,7
41- Between 50 Years	55	18,3	Post Graduate	65	21,7
51- Between 60 Years	22	7,3	Doctorate	11	3,7
<b>Position</b>	<b>f</b>	<b>%</b>	<b>Risk Management Assurance Certificate</b>		
Personnel	170	56,7	Yes	89	29,7
Sub- Level Manager	78	26,0	No	211	70,3
Manager	52	17,3	<b>Derivative Instruments</b>		
<b>Graduated Faculty</b>	<b>f</b>	<b>%</b>	<b>f</b>	<b>%</b>	
Economics and Administrative Science	214	71,3	Yes	154	51,3
Engineering Architecture	22	7,3	No	146	48,7
Distance Education	48	16,0	<b>Credit Rating License</b>		
Communication Faculty	16	5,3	Yes	134	44,7
<b>Has Children</b>	<b>f</b>	<b>%</b>	No	166	55,3
Yes I have Children	170	56,7	<b>Housing Val. License</b>		
I Have No Children	130	43,3	Yes	135	45,0
<b>SPK 1</b>	<b>f</b>	<b>%</b>	No	165	55,0
Yes	147	49,0			
No	153	51,0			
<b>Grand Total=300</b>					

### 4.2. Comparisons Based on Socio-Demographic Characteristics

Of the 300 people included in the study, 70 (23.3%) were under the age of 30,153 (51%) aged between 30-40 years, 55 (18.3%) 41-50 years old and 22 (7.3%) were between 51-60 years of age. Of the 300 people included in the study, 158 (52.7%) were female,142 (47.3%) were male. Of the 300 people included in the study, 77 (25.7%) were single, 223

(74.3%) are married. Of the 300 people included in the study, 170 (56.7) children while there were 130 (43.3%) children. 42 of the 300 participants (14%) are associate's while 182 (60.7%) bachelors, 65 (21.7%) graduate (11.7%) and Ph.D.

	Female	Male	z	p
	(n=158)	(n=142)		
Ethical Leadership	3.70 ± 0.84	3.77 ± 0.81	-0.658	0.511
	3,65 (1,70-5,00)	3,95 (1,70-5,00)		
Ethical Climate	4.10 ± 0.82	3.92 ± 1.05	-1.077	0.281
	4.36 (1.82-5.00)	4.27 (1.00-5.00)		
Unethical Behavior	2.63 ± 0.75	2.65 ± 0.80	-0.097	0.923
	2.56 (1,11-4,89)	2.56 (1,11-4,44)		

There is no statistically significant difference in terms of “ethical leadership” scale score between males and females ( $p=0,511$ ). There is no statistically significant difference in terms of “ethical climate” scale score between males and females ( $p=0,281$ ). So H02 hypothesis is accepted. There is no statistically significant difference in terms of “unethical behaviour” scale score between males and females ( $p=0,923$ ). So H03 hypothesis is accepted.

Table 4: Comparisons According to Marital Status

	Single	Married	z	p
	(n=77)	(n=223)		
Ethical Leadership	3.57 ± 0.77	3.79 ± 0.84	-1.981	<b>0.048</b>
	3.70 (1.70-5.00)	3.90 (1.70-5.00)		
Ethical Climate	3.90 ± 0.86	4.05 ± 0.96	-2.175	<b>0.03</b>
	4,18 (1,64-5,00)	4.36 (1.00-5.00)		
Unethical Behavior	2.61 ± 0.72	2.65 ± 0.79	-0.562	0.574
	2.56 (1,11-4,33)	2,67 (1,11-4,89)		

There is a statistically significant difference in terms of “ethical leadership” scale score between married and single individuals ( $p<0,048$ ). There is a statistically significant difference in terms of “ethical climate” scale score between married and single individuals ( $p<0,030$ ). There is no statistically significant difference in terms of “unethical behaviour” scale score between married and single individuals ( $p=0,574$ ).

Table 5: Comparisons by Age

	Under 30 years	30-40 years	41-50 years	51-60 years	Chi-square	p
	(n=70)	(n=153)	(n=55)	(n=22)		
Ethical Leadership	3.60 ± 0.75	3.59 ± 0.76	3.86 ± 0.90	4.84 ± 0.27	52.05	<b>&lt;0.001</b>
	3.60 (2.0-4.90)	3.60 (1.70-4.9)	4.00 (2.0-5.0)	5.00 (4.4-5.0)		
Ethical Climate	3.90 ± 0.94	3.97 ± 0.88	3.91 ± 1.07	4.95 ± 0.05	51.246	<b>&lt;0.001</b>
	4.18 (1.64-5.0)	4.18 (1.0-5.0)	4.27 (1.27-5.0)	5.00 (4.82-5.0)		
Unethical Behavior	2.59 ± 0.74	2,62 ± 0,75	2.83 ± 0.89	2.44 ± 0.67	4.35	0.226
	2.56 (1.11-4.0)	2.56 (1,11-4,44)	2.68 (1.22-4.89)	2.39 (1.44-3.78)		

There is a statistically significant difference in terms of “ethical leadership” scale score among age groups ( $p<0,001$ ). There is a statistically significant difference in terms of “ethical climate” scale score among age groups ( $p<0,001$ ). There is no statistically significant difference in terms of “unethical behaviour” scale score among age groups ( $p=0,226$ ).

Table 6: Comparisons According to Being Parents

	Has Children	No children	z	p
	(n=170)	(n=130)		
Ethical Leadership	3.80 ± 0.86	3.65 ± 0.76	-1.852	<b>0.064</b>
	3,95 (1,70-5,00)	3.80 (1.70-5.00)		
Ethical Climate	4.04 ± 0.99	3.98 ± 0.87	-1.472	<b>0.141</b>
	4.36 (1.00-5.00)	4,18 (1,64-5,00)		
Unethical Behavior	2.69 ± 0.81	2.57 ± 0.71	-1.259	0.208
	2,67 (1,22-4,89)	2.56 (1,11-4,33)		

There is a statistically significant difference in terms of “ethical leadership” scale score among those with children and without (p=0,064). There is no statistically significant difference in terms of “ethical climate” scale score among those with children and without (p=0,141). There is no statistically significant difference in terms of “unethical behaviour” scale score among those with children and without (p=0,208).

Table 7: Comparisons by Education Level

	Associate Degree	Degree	Graduate / Doctorate	Chi-square	p
	(n=42)	(n=182)	(n=76)		
<b>Ethical Leadership</b>	3.58 ± 0.83	3.62 ± 0.81	4.09 ± 0.76	19.817	<b>&lt;0.001</b>
	3.70 (2.00-4.90)	3,65 (1,70-5,00)	4.40 (2.20-5.00)		
<b>Ethical Climate</b>	3.66 ± 1.10	3.98 ± 0.90	4.29 ± 0.85	17.268	<b>&lt;0.001</b>
	4,00 (1,00-5,00)	4.27 (1.09-5.00)	4.64 (1.91-5.00)		
<b>Unethical Behavior</b>	2.73 ± 0.85	2.65 ± 0.76	2.57 ± 0.76	0.734	0.693
	2,67 (1,11-4,44)	2.56 (1,11-4,89)	2.61 (1.22-4.22)		

There is a statistically significant difference in terms of “ethical leadership” scale score among education groups (p<0,001). There is a statistically significant difference in terms of “ethical climate” scale score among education groups (p<0,001). There is no statistically significant difference in terms of “unethical behaviour” scale score among education groups (p=0,693).

Table 8: Comparisons by Area of Education

	Economic Administration	Engineering	Distance Education	Communication	Chi-square	p
	(n=214)	(n=22)	(n=48)	(n=16)		
<b>Ethical Leadership</b>	3.76 ± 0.81	3.77 ± 0.88	3.59 ± 0.87	3.75 ± 0.81	1.291	0.731
	3.90 (1.70-5.00)	3.80 (1.90-5.00)	3.60 (2.00-5.00)	4.10 (2.20-4.80)		
<b>Ethical Climate</b>	4.08 ± 0.89	4.37 ± 0.70	3.69 ± 1.06	3.59 ± 1.15	10.28	<b>0.016</b>
	4.36 (1.09-5.00)	4.55 (2.27-5.00)	4,00 (1,00-5,00)	3.95 (1.91-4.82)		
<b>Unethical Behavior</b>	2,62 ± 0,75	2.51 ± 0.76	2.75 ± 0.87	2.78 ± 0.84	2.031	0.566
	2.56 (1,11-4,89)	2.50 (1.11-4.00)	2,67 (1,11-4,44)	2.72 (1.22-4.00)		

There is no statistically significant difference in terms of “ethical leadership” scale score between faculty groups (p=0,731). There is a statistically significant difference in terms of “ethical climate” scale score between faculty groups (p=0,016). There is no statistically significant difference in terms of “unethical behaviour” scale score between faculty groups (p=0,566).

Table 9: Comparisons According to Holding Capital Markets Activities Level-1 License

	Holding Capital Markets Activities Level-1 License		z	p
	Yes	No		
	(n=147)	(n=153)		
<b>Ethical Leadership</b>	3.81 ± 0.85	3.66 ± 0.79	-1.535	0.125
	4,00 (1,70-5,00)	3.80 (1.70-5.00)		
<b>Ethical Climate</b>	4.16 ± 0.90	3.87 ± 0.95	-3.339	<b>0.001</b>
	4.45 (1.09-5.00)	4,18 (1,00-5,00)		
<b>Unethical Behavior</b>	2.59 ± 0.75	2.69 ± 0.79	-1.072	0.284
	2.56 (1,11-4,33)	2,67 (1,11-4,89)		

There is a statistically significant difference in terms of “ethical leadership” scale score among those with the license in question and without (p=0,125). There is a statistically significant difference in terms of “ethical climate” scale score among those with the license in question and without (p<0,001). There is a statistically significant difference in terms of “unethical behaviour” scale score among those with the license in question and without (p=0,284).

Table 10. Comparisons According to Holding Derivative Instruments License

	Holding Derivative Instruments License		z	p
	Yes	No		
	(n=154)	(n=146)		
<b>Ethical Leadership</b>	3.79 ± 0.82	3.67 ± 0.82	-1.034	0.301
	3.80 (1.70-5.00)	3.90 (1.70-5.00)		
<b>Ethical Climate</b>	4.07 ± 0.96	3.95 ± 0.92	-1.988	<b>0.047</b>
	4.36 (1.64-5.00)	4,18 (1,00-5,00)		
<b>Unethical Behavior</b>	2.57 ± 0.74	2.71 ± 0.80	-1.052	0.293
	2.56 (1,11-4,33)	2.61 (1.11-4.89)		

There is no statistically significant difference in terms of “ethical leadership” scale score among those with the license in question and without (p=0,301). There is a statistically significant difference in terms of “ethical climate” scale score among those with the license in question and without (p=0,047). There is a statistically significant difference in terms of “unethical behaviour” scale score among those with the license in question and without (p=0,293)

Table 11: Comparisons According to Holding Credit Rating License

	Holding Credit Rating License		z	p
	Yes	No		
	(n=134)	(n=166)		
<b>Ethical Leadership</b>	3.71 ± 0.83	3.75 ± 0.82	-0.208	0.835
	3.90 (1.70-5.00)	3.80 (1.70-5.00)		
<b>Ethical Climate</b>	3.85 ± 1.03	4.14 ± 0.84	-2.133	<b>0.033</b>
	4.23 (1.00-5.00)	4.36 (1.09-5.00)		
<b>Unethical Behavior</b>	2.66 ± 0.76	2.62 ± 0.78	-0.292	0.77
	2.56 (1,11-4,44)	2,67 (1,11-4,89)		

There is no statistically significant difference in terms of “ethical leadership” scale score among those with the license in question and without (p=0,835). There is a statistically significant difference in terms of “ethical climate” scale score among those with the license in question and without (p=0,033). There is no statistically significant difference in terms of “unethical behaviour” scale score among those with the license in question and without (p=0,770).

Table 12. Comparisons According To Holding Housing Valuation License

	Holding Housing Valuation License		z	p
	Yes	No		
	(n=135)	(n=165)		
<b>Ethical Leadership</b>	3.60 ± 0.85	3.85 ± 0.79	-2.607	<b>0.009</b>
	3,60 (1,70-5,00)	4,00 (1,70-5,00)		
<b>Ethical Climate</b>	3.90 ± 1.03	4.10 ± 0.84	-1.422	0.155
	4.27 (1.00-5.00)	4.36 (1.91-5.00)		
<b>Unethical Behavior</b>	2.73 ± 0.77	2.56 ± 0.77	-1.677	0.094
	2.56 (1,11-4,44)	2.56 (1.22-4.89)		

There is a statistically significant difference in terms of “ethical leadership” scale score among those with the license in question and without (p=0,009). There was no statistically significant difference in terms of "ethical climate" scale score between those who have the relevant license and those who do not (p = 0,155). There was no statistically significant difference in terms of "unethical behavior" scale score between those with and without the relevant license (p = 0.094).



Table 13: Comparisons According to Holding Risk Management Assurance Certificate

	Holding Risk Management Assurance Certificate		z	p
	Yes	No		
	(n=89)	(n=211)		
Ethical Leadership	3.75 ± 0.84	3.73 ± 0.82	-0.296	0.767
	3.90 (1.70-5.00)	3.80 (1.70-5.00)		
Ethical Climate	3.98 ± 0.98	4.03 ± 0.92	-0.046	0.963
	4.36 (1.09-5.00)	4.27 (1.00-5.00)		
Unethical Behavior	2.61 ± 0.75	2.65 ± 0.78	-0.223	0.823
	2.56 (1.11-4.4)	2.56 (1,11-4,89)		

There is a statistically significant difference in terms of “ethical leadership” scale score between position in the institution ( $p < 0,001$ ). There is a statistically significant difference in terms of “ethical climate” scale score between position in the institution ( $p < 0,001$ ). There is no statistically significant difference in terms of “unethical behaviour” scale score between position in the institution ( $p = 0,580$ ).

## 5. Conclusion and Suggestions

There were no statistically significant differences in terms of "ethical leadership" scale scores between males and females in this study and there was a significant difference in terms of "ethical leadership" and "ethical climate" between married and single individuals observed. The desire of married individuals to work in a more stable environment and tend to be less risky also lead to the valuing of ethical leadership and ethical climate. Single individuals can be interpreted as being more prone to take risks and change jobs. Since married people will act with the instinct to protect their family environment, there is a desire to work in a more ethical environment.

When we look at educational status and education areas, there was a statistically significant difference between "ethical leadership" and "ethical climate" scale scores. When it is examined which group or groups the difference is between; There was a statistically significant difference between "associate degree" and "graduate / doctorate" groups and between “degree” and "graduate / doctorate" groups but no significant difference between “degree” and “associate degree” groups. While there is a statistically significant difference between the education groups in terms of "ethical climate" scale point, when the group or group in which the difference is found is examined; There was a statistically significant difference between "associate degree" and "graduate / doctorate" groups and between “degree” and "graduate / doctorate" groups but no significant difference between “degree” and “associate degree” groups. There was no statistically significant difference between the education groups in terms of "unethical behavior" scale score. In this respect, it is revealed that the education variable does not have any influence on ethical behavior change but it is an important variable having an influence in terms of ethical leadership and ethical climate. As the level of education increases, the tendency towards a specific field also increases, which leads to a tendency to show more ethical behavior.

When we look at age by comparison, there is a significant difference between " ethical leadership " and " ethical climate " and the interval with the most difference is 51-60 years. According to the studies carried out, cognitive development will increase as the age increases and the ethical behavior can be interpreted as increasing with it. The ethical perception in Corporate Governance is also changing in this way and it can be interpreted as the necessity of departing from the environment in which people work by perceiving institutional loyalty and protecting ethical standards and ethical climate and ethical leadership.

In our study, there was a significant and positive relationship between the ethical leadership and the ethical climate for the 30-factor 3-scale structure in the analysis by applying the Confirmatory Factor Analysis (Structural Equation Model). There was a negative relationship between ethical leadership-unethical behavior and ethical climate-unethical behavior . This shows the direction of the relationship between them.

Morality includes the conduct and rules in society that individuals are obliged to obey. In this respect, the development of morality involves a kinetic development as a result of the experiences of individuals and not a lack of progression. While laws appear as compelling, written provisions, ethical values make the individual responsible for decisions taken. Morality can be concluded to be the result of evaluating the justifications of ethical behavior while creating patterns of behavior and rules that individuals must obey.

It is not possible to find activities that are against human rights often in a tolerant society that is as pleasant as possible with a sense of love and understanding. Ethical culture must be adopted in order to construct the mentioned social structure.

Moving towards business ethics is an opportunity for both business people and organizations. Businesses and organizations need to be able to apply the values recognized as human values to their working lives.

It is also seen from our study that if a staff member of the organization thinks that he or she has not been treated fairly and certain members of staff are treated with privilege, it can be said that the ethical behavior in the institution is not internalized even if the organization has set ethical codes. Therefore, it can be said that the institutional injustice perceived by the staff will negatively affect the perception of ethics regarding the institution. In organizations where the codes of ethics are important and communication is strong, the staff are more likely to behave in conformity with the behaviors to be avoided or complied with in the framework of corporate governance.

As seen in our study, it is observed that the ethical perception in Corporate Governance changes according to marital status, age, education status, position in the institution, duration at the institution and total duration of work. It has been seen that these changes have an effect on the ethical perception of the institution. It is envisaged that the ethical perception in Corporate Governance will be created by internalization of the ethical perception in addition to the written rules of ethics with the training given to propagate it among the staff at every level of the bank.

## References

- Acar, A.** (2013). Z. Farklı Örgüt Kültürü Tipleri Ve Liderlik Tarzları İle Örgütsel Bağlılık Arasındaki İlişki: Lojistik İşletmelerinde Bir Araştırma. Farklı Örgüt Kültürü Tipleri Ve Liderlik Tarzları İle Örgütsel Bağlılık Arasındaki İlişki: Lojistik İşletmelerinde Bir Araştırma, V. 5, N. 2, 5-31.
- Akdoğan, A. VE Demirtaş.** (2014.) Ö. Etik Liderlik Davranışlarının Etik İklim Üzerindeki Etkisi: Örgütsel Politik Algılamaların Aracı Rolü. Journal Of Economics And Administrative Sciences, V. 16, N. 1, 107-123.
- Ateş, H.; ORAL.** (2003). B. Kamu Yönetiminde Etik: Kültürel Temeller Ve “Örgütsel Ruhçuluk” Kuramı Ekseninde Bir Analiz. Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, V. 5, N. 1, 55-71.
- Aydın, İ.** (2016). Yönetmel, Mesleki Ve Örgütsel Etik, Pegem Akademi Yayınları,7.Baskı,Ankara.
- Aykanat, Z.** (2010). Karizmatik Liderlik Ve Örgüt Kültürü İlişkisi Üzerine Bir Uygulama. Karamanmehmetbey Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Barnett, T. Ve Schubert E.** (2002). Perceptions Of The Ethical Work Climate And Covenantal Relationships. Journal Of Business Ethics, V. 36, N. 1, 279-290..
- Brown, M. E., Trevino, L. K. And Harrison, D. A.** (2005). Ethical Leadership: A Social Learning Perspective For Construct Development And Testing. Organizational Behavior And Human Decision Processes , V. 97, N. 1, 117-134.
- Byrne, B. M.** (1989). A Primer Of Lisrel: Basic Applications And Programming For Confirmatory Factor Analytic Models. New York: Springer-Verlag.
- Demirdağ, G. E. VE Ekmekçiöğlü, E. B.** (2015) Etik İklim Ve Etik Liderliğin Örgütsel Bağlılık Üzerine Etkisi: Görgül Bir Araştırma. Gazi Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, V. 17, N. 1, 197-216.
- Doğan, S. VE Kılıç, S.** (2014), Üretkenlik Karşıtı İş Davranışlarının Türleri, Boyutları Ve Benzer Kavramlarla İlişkilerine Yönelik Bir Yazın İncelemesi. H.Ü. İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, V. 32, N. 2, 103-132..
- Eren, E.** (2012). Örgütsel Davranış Ve Yönetim Psikolojisi, Beta Yayınları,13.baskı,İstanbul.
- Kline, R. B.** (2011). Principles And Practice Of Structural Equation Modeling. London: The Guilford Press
- Murphy, P. E. And Enderle, G.** (1995). Managerial Ethical Leadership: Examples Do Matter. Business Ethics Quarterly., V. 5, N. 1, P. 117-128.
- Özgener, Ş.** (2002). İmalat Sanayii İşletmelerindeki Kamu Ve Özel Sektör Yöneticilerinin İş Ahlakına İlişkin Tutumları. Amme İdaresi Dergisi, V. 35, N. 1, 175-199.
- Pettijohn, C., Pettijohn.** (2008). L. And Taylor, A.J. Salesperson Perceptions Of Ethical Behaviors: Their Influence On Job Satisfaction And Turnover Intentions. Journal Of Business Ethics, V. 78, 547 – 557.
- Sayğan, S.; BEDÜK.** (2013). A. Ahlaki Olmayan Davranışların Duyurulması (Whistleblowing) Ve Etik İklimi İlişkisi Üzerine Bir Uygulama. Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, V. 28, N. 1, 1-23.
- Schwepper, C. H.** (1997) Ferrel, O. C. And Ingram, T. N.. The Influence Of Ethical Climate And Ethical Conflict On Role Stress In The Sales Force. Journal Of The Academy Of Marketing Science, V. 25, N. 2, 99-108.
- Şimşek, Ö. F.** (2007). Yapısal Eşitlik Modellemesine Giriş - Temel İlkeler Ve LISREL Uygulamaları. İstanbul: Ekinoks Yayınları.
- Tuna, M. Ve Yeşiltaş.** (2013). M. Liderliğin Etik Boyutu: Etik Liderliğin Otel İşletmelerindeki İşgörenler Tarafından Algılanması. İşletme Araştırmaları Dergisi, V. 5, N. 3, 184-209



# Yol İnşaatı Şantiyelerinde Ergonomik Risk Değerlendirmesi

Kerim Yürek<sup>1</sup>, İrem Ersöz Kaya<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Tarsus Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, Tarsus, Mersin, Türkiye

<sup>2</sup> Tarsus Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Tarsus, Mersin, Türkiye

(İlk Geliş Tarihi 1 Aralık 2019 ve Kabul Tarihi 31 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.667469)

**ATIF/REFERENCE:** Yürek, K., & Ersöz Kaya, İ. (2019). Yol İnşaatı Şantiyelerinde Ergonomik Risk Değerlendirmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1357-1366.

## Öz

Yol inşaatı şantiyeleri, aynı anda birden fazla riski bir arada bulunduran çalışma alanlarının başında yer almaktadır. Bu çalışmanın amacı yol inşaatı şantiyelerinde işçilerin fiziki ve psikolojik özelliklerine uygun şekilde çalışma şartlarının sağlanması, işçilerin sağlığının korunması ve şantiyede meydana gelebilecek iş kazaları riskinin minimum düzeye indirilmesi bakımından ergonomik risk değerlendirmesinin önemini vurgulamaktır. Ergonomik risk değerlendirmesi için yol inşaatı şantiyelerinde, yol yapım ince işlerden yol çizgisi yapım işi çalışanları seçilmiştir. Çalışanların pozisyon ve yaptıkları işler üzerinden ergonomik açıdan risk etmeni oluşturan duruş, kuvvet, tekrarlama ve süreklilik gibi farklı durumları içeren işler ele alınmıştır. Daha sonra yol çizgi çalışması yapılan şantiye alanı incelenmiş ve yapılan işlere ergonomik risk değerlendirmesi yapılmıştır. Ergonomik risk değerlendirmesinde OWAS, REBA ve ManTRA yöntemleri kullanılmıştır. Yapılan ergonomik risk değerlendirmesi sonucunda, yol çizgi çalışma ekibinde kas iskelet sisteminde zorlamaya neden olan işler tespit edilmiştir. Çalışmada ayrıca, yöntemlerin birbirlerine ve işlere göre karşılaştırılması ortaya konulmuştur. İncelenen işlerden birkaç tanesi dışında diğer tüm işlerde yakın zamanda iyileştirme yapılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu işlerde vücudun en çok zorlanan sırt bölgelerinde kas iskelet sistemi rahatsızlığına neden olacak durumlar sunulmuştur. ManTRA yönteminin vücut bölümleri ile ilgili ayrıntılı değerlendirme sonuçları sağladığı, yapılan işin öncelik bakımından düzenleme yapılıp yapılmayacağı konusunda tek başına yeterli olmadığı ama diğer risk değerlendirme yöntemleri ile birlikte kullanıldığında işin risk düzeyini desteklediği görülmüştür. Risk değerlendirmesinin temel amacına uygun olarak eylem seviyesi açısından en iyi sonuç OWAS ve REBA yöntemleri ile elde edilmiştir. OWAS veya REBA yöntemleri ile elde edilen eylem seviyesi ile birlikte ManTRA yönteminden elde edilen işlem önceliği birlikte kullanılarak vücudun odaklanması gereken bölümü belirlenmiştir. Ergonomik risk değerlendirmesi sonucunda, çalışan ile kullanılan uygun makine-araç arasındaki önem ortaya koyulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Yol İnşaatı Şantiyeleri, Ergonomik Risk Değerlendirmesi, İş Sağlığı ve Güvenliği, OWAS, REBA, ManTRA.

## Ergonomic Risk Evaluation on Road Construction Sites

### Abstract

Road construction sites take place on the top of the fields which comprise more than one risk at the same time. The aim of this study is to lay emphasis on the evaluation of ergonomic risk in terms of providing working conditions in compliance with their physical and psychological characteristics, protecting workers' health and minimizing the risk of working accidents that may occur on construction sites. For ergonomic risk evaluation, making road line employees have been chosen for road construction craftsmanship on the road construction sites. It has been discussed about the subjects including workers' position and different situations such as their stance,

<sup>2</sup> Sorumlu Yazar: Tarsus Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye, iremer@tarsus.edu.tr

strength, repetition that have risk agent ergonomically. Later on, road construction site that road line work had been done was analyzed and ergonomic risk evaluation was made for the work done. OWAS, REBA and ManTRA methods were used for the ergonomic risk evaluation. As a result of this ergonomic risk evaluation, some works have been detected that caused difficulties on road line workers' musculoskeletal systems. In the study, comparison of the methods according to each other and work was also made. It has been achieved that in all other works other than a few of the examined works, improvement is needed in the near future. In these jobs, the most difficult areas of the back muscles of the system will be presented to the cause of the situation. It has been found that the ManTRA method provides detailed assessment results on body parts, the work done is not sufficient in terms of prioritization, but it is supported by the risk level when used in conjunction with other risk assessment methods. In accordance with the main objective of the risk assessment, the best results in terms of level of action were obtained with OWAS and REBA methods. The action level obtained by the OWAS or REBA method together with the treatment priority obtained from the ManTRA method were used together to determine the fraction of the body to be focused. As a result of this ergonomic risk evaluation, the importance between the employees and suitable equipment used has been revealed.

**Keywords:** Road Construction Sites, Ergonomic Risk Evaluation, Occupational Health and Safety, OWAS, REBA, ManTRA.

## 1. Giriş

Ülkelerin ve toplumların gelişmesine paralel olarak ulaşım araçlarının yoğunluğu ve bunun sonucu olarak yol yapım gereksiniminin sürekli olarak artış gösterdiği bilinen bir gerçektir. Yol inşaatı şantiyelerinde işçilerin fiziki ve psikolojik özelliklerine uygun şekilde çalışma şartlarının sağlanması, işçilerin sağlığının korunması ve şantiyede meydana gelebilecek iş kazaları riskinin minimum düzeye indirilmesi bakımından çok önemlidir. Yol inşaatı şantiyelerinde meydana gelen iş kazalarını en aza indirmenin farklı metotları olmakla beraber, bahsedilen iş kazalarında insan faktörü göz ardı edilmemelidir.

Çalışma hayatının her alanında çalışma verimliliğinden ve işçi güvenliğine kadar uzanan sektörde, insan etkeni konusunda sürekli çalışmalar yapılmaktadır. Yol inşaatı şantiyelerinde, insan gücünün kullanımı ile verimliliğin yükselmesine paralel olarak, iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının önem kazanmasını sağlayan bu çalışmalar, inşaat sektöründe ergonomik yaklaşımın zorunluluğunu ortaya çıkarmaktadır. Ergonomi; insanların anatomik özelliklerini, antropometrik karakteristiklerini, fizyolojik kapasite ve toleranslarını göz önünde tutarak, endüstriyel iş ortamındaki tüm faktörlerin etkisiyle oluşabilecek organik ve psiko-sosyal stresler altında, sistem verimliliğini ve insan-makine-çevre uyumunun temel yasalarını ortaya koymaya çalışan çok disiplinli bir bilim dalıdır. Diğer bir deyişle, insanı çeşitli açılardan inceleyen ve katlanabileceği sınırları tespit eden, işin insana ve insanın işe uyumluluğunu araştıran, disiplinlerarası bir alandır (Erkan, 1997).

Günümüzde hızla gelişen teknoloji çalışma yaşamında bazı değişikliklere neden olmaktadır. Bu değişiklikler çalışan insanın yeteneklerini ve çalışma şartlarını zorlamaktadır. Çalışanların üretim sürecinde makineler ile birlikte yürütülen işler, insan yeteneklerini kısıtlamakta ve çalışanları bedensel ve ruhsal olarak yıpratmaktadır. Bu nedenle, iş yerinde çalışanların yapması beklenen işler ile insanın yetenek ve yapısına uygun işler arasında bir denge sağlanması gerekmektedir. İş yerinde verimli ve güvenli bir çalışma ortamının sağlanması için ses, aydınlatma, sıcaklık gibi faktörler, çalışanın yapısına ve psikolojisine uygun olarak düzenlenmiş olmalıdır. Bu yöndeki düzenlemeler ergonomi biliminin temel görevidir. Daha açık bir şekilde, iş insan özelliklerine göre düzenlenmeli ve insanlara uygun işler tasarlanarak çalışanların yaşam standartları yükseltilmelidir.

İş kazaları ve meslek hastalıkları ile iş aktivitelerine bağlı olarak ortaya çıkan veya seyri şiddetlenen sağlık sorunlarının nedenlerini araştırma ve koruma yöntemleri geliştirerek bu zararlı unsurları çalışma ortamından uzaklaştırmak için risk değerlendirmesi öncelikli gerçekleştirilmesi gereken unsurlardan biridir. Risk değerlendirmesi, mevcut bulunan tehlikelerden kaynaklanabilecek risklerin göreceli önem derecesini ortaya çıkarmak için yapılan bir işittir. Ardından, önleyici etkin yöntemlerden başlayarak kontrollerin de tasarlanması gerekir. Önleme ve kontrol faaliyetleri için hangi öncelikleri gözetererek ne kadar zaman ayrılması gerektiği ve hangi kaynakların tahsis edileceği belirlenir ve zararlı etkiler değerlendirilerek derecelendirilir. Katlanılabilir olanlarla acilen ortadan kaldırılması veya katlanılabilir düzeylere kadar azaltılması gerekli olan zararlı etkenleri ayıklamak için bir değerlendirmeye ihtiyaç bulunmaktadır.

Literatürde, iş sağlığı ve güvenliği alanında iş kazalarına sebep olan faktörlerin belirlenmesi ve bu konuda alınması gereken önlemlerin tasarlanması üzerine birçok çalışma yer almaktadır. Örneğin Aksöyek (2002), inşaat sektöründe son 10 yılda meydana gelen iş kazalarını inceleyerek, kazalara neden olan faktörlerin saptamış, kazalardan korunmak için gerekli uygulamaların belirlemiş ve iş güvenliği açısından, inşaat sektörünü değerlendirmiş ve iyileştirici öneriler sunmuştur. Başka bir çalışmada Müngen (2011), inşaat sektöründe en çok rastlanan iş kazası tiplerinin neler olduğunu açıklamış, bazı önemli kaza tiplerinin alt ayrımları ve yine önemli şantiye türlerinde ön plana çıkan kaza tiplerini sayısal verilerle tanıtmıştır. Yol yapım şantiyelerinde uygulanan iş sağlığı ve güvenliği düzenlemelerine ilişkin bir çalışmada ise yol yapım, bakım ve onarım şantiyeleri ile çevresel etkiler incelenmiştir. Sahada görev alan çalışanlar ile görüşmeler yapılarak, şantiyedeki iş sağlığı ve güvenliği hakkında bilgiler toplanmış; elde edilen bilgiler doğrultusunda sahada karşılaşılabilecek tehlike ve risk durumları belirlenmiştir. Bu tehlike ve risk durumlarını oluşmadan önlemek, iş kazalarını ve meslek hastalıklarını en aza indirmeye yardımcı olacak her şantiyeye özgü kontrol listeleri ortaya çıkarılmıştır (Gönenç, 2016).

İş kazaları ve meslek hastalıklarının ortaya çıkmasında etkili faktörler arasında yer alan ergonomi konusunda yapılan çalışmalar da literatürde önemli bir yer tutmaktadır. Özcan ve Kesiktaş (2007), meslek kas iskelet hastalıklarından korunma konusunda ergonomik programların etkinliğine değinmişlerdir. Benzer şekilde, Kuruoğlu vd. (2015) ergonomi ve antropometri bilim dallarına ait temel bilgilere değinerek, inşaat sektöründe iş sağlığı ve güvenliği açısından ergonomik ve antropometrik tasarımın önemi vurgulamışlardır.

Bununla birlikte, ergonomik risk faktörlerinin araştırıldığı diğer bir çalışmada, ergonomik risk değerlendirme yöntemlerinden yararlanılarak ortaya çıkabilecek kas iskelet sistemi rahatsızlıkları konusundaki riskler belirlenmiştir (Atasoy Mert, 2014). Fiziksel güç gerektiren işlerde çalışanlarda sırt, bacak, kol, boyun, vb. bölgelerde sıklıkla görülen kas iskelet sistemi rahatsızlıklarının ele alındığı bir başka çalışmada da ergonomik risk değerlendirme yöntemlerine ve işe bağlı kas-iskelete sistemi sorunlarına yer verilmiştir (Koç ve Testik, 2016)

Yapılan çalışmalardan da görüldüğü üzere, işçi sağlığı ve iş güvenliğinde risk analizi ve ergonomik faktörlerin etkisi, önemli ve acil önemler alınması gereken bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Her gün inşaat sektörü başta olmak üzere çok sayıda çalışan, engellenmesi mümkün ve yasalar ile de engellenmesi şart olan iş kazaları ve meslek hastalıkları yüzünden ölmekte veya bu iş kazasının sonuçlarını hayatı boyunca çekmeye maruz bırakılmaktadır. Bu kazaların en fazla meydana geldiği inşaat sektörü içinde yol inşaatı şantiyeleri ise bu alanda ilk sıralarda yer almaktadır. Bu çalışmada yol inşaatı şantiyelerinde ince işlerden yol çizgi işi yapımında, olumsuz çalışma koşullarının kaldırılmasına yönelik bir bakış açısı ile ergonomik risk değerlendirmesi yapılacaktır. Çalışma ortamının insanın fizyolojik ve psikolojik yapısına uygun olarak düzenlenmesi esas alınacak, bu konuda psikolojik yönünden çok çalışma ortamındaki fiziksel şartlar üzerinde durulacaktır.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışmanın ilk aşamasında ergonomik risk değerlendirilmesinde ihtiyaç duyulacak ilgili tüm bilgiler toplanarak değerlendirilmiş ve yol inşaatı şantiyesinde yerinde gözle muayene yapılmıştır. Ardından, ergonomik risk değerlendirmesi yapılacak olan işler belirlenmiştir (Tablo 1). Bu işlem yapılırken şantiye sahasına girişten itibaren yapılan tüm işler ele alınarak listeleme yapılmıştır.

Tablo 1. Ergonomik Risk Değerlendirmesinde Uygulanan İşler

İş No	Uygulanan İş
İş 1	İkmal yapılacak boya tenekesinin istif yerinden indirilmesi
İş 2	İndirilen boya tenekesinin dolmuş yerine getirilmesi
İş 3	Dolmuş yapılacak tenekenin ağzının spatula ile açılması
İş 4	Ağız açılan tenekedeki boyanın mikser ile karıştırılması
İş 5	Mikser ile karıştırılan boyanın ikmal kazanına dökülmesi
İş 6	Cam küreciklerinin istif yerinden indirilmesi
İş 7	İndirilen cam küreciklerinin dolmuş yerine getirilmesi
İş 8	Dolmuş yerine getirilen cam küreciği çuvallarının maket bıçağı ile ağzının açılması
İş 9	Ağız açılan cam küreciği çuvallarının çizgi arabasına dökülmesi
İş 10	Çizgi arka operatörünün çizgi aparat direksiyonu ile açma-kapama yapması
İş 11	Çizgi ön operatörünün çizgi arabasını sürmesi
İş 12	Yol çizgi işi yapıldıktan hemen sonra konilerin yola dizilmesi
İş 13	Yol çizgi işi yapıldıktan hemen sonra konilerin geri toplanması

Ergonomik risk değerlendirmesi için geliştirilmiş birçok metot bulunmaktadır (Yürek, 2018). Yol çizgi işi çalışanlarının pozisyon ve yaptıkları işler göz önüne alındığında, ergonomik açıdan risk etmeni oluşturan duruş, kuvvet, tekrarlı ve süreklilik gibi farklı bileşenleri değerlendirmeye alan, ManTRA (Manual Tasks Risk Assessment Tool-Elle Yapılan Görevler için Risk Değerlendirme Aracı), OWAS (Ovako Working Posture Analyzing System-Ovako Çalışma Duruşları Analiz Sistemi) ve REBA (Rapid Entire Body Assessment-Hızlı Tüm Vücut Değerlendirmesi) gibi yöntemler tercih edilmiştir. Bu metodların uygulanması sonucunda, yol inşaatı şantiyelerinde çalışanlar üzerindeki ergonomik riskler ve alınacak önlemler belirlenmiş; yöntemlerin birbirlerine karşı olan üstünlükleri karşılaştırılarak iş tiplerine göre uygunlukları tartışılmıştır.

### 2.1. OWAS

OWAS, çalışanların kas-iskelet sistemindeki zorlanmaları ve sistemden kaynaklı kötü çalışma duruşlarını belirlemeye yarayan gözleme dayalı bir analiz metodudur. OWAS metodu, iş etüt yapanlara iş yerindeki çalışma metodlarının iyileştirilmesinde gerekli düzenlemelerin yapılmasına yardımcı olması amacıyla tasarlanmıştır. Temeli ise çalışma duruşlarının örnekleme dayanmaktadır (Corlett vd., 1986). Finlandiya'da bulunan bir çelik üretim şirketi (Ovako) tarafından 1970 ortalarında geliştirilmiştir.

OWAS yöntemi, çalışanın sırt duruşu, bacak duruşu ve kol duruşlarını değerlendirir. OWAS; 4 sırt duruşu, 7 bacak duruşu, 3 kol duruşuyla kaldırılan yük ağırlığını değerlendiren üç yük durumu kombinasyonundan meydana gelen toplamda 252 (4x3x7x3) adet duruş ve yük kombinasyonuna sahiptir. Bu metoda göre, ergonomik risk değerlendirmesini yapan kişi, çalışanların yapmakta olduğu görev sırasında gözlemleyerek sırt duruşları, kol duruşları ve bacak duruşları ile beraber vücut duruşlarını ve çalışanların iş boyunca uyguladığı yükü 4 dijital kod yardımı ile kayıt eder (Akay ve Dağdeviren, 2003). İkinci aşamada ise çalışanların yaptığı her bir vücut duruşu için geçen süre ve duruşun gerçekleşme aralığı analiz edilir. Analizi yapan kişi vücut duruşlarını kayıt altına alır. Yapılan bu kayıtlar analiz edilen iş için farklı zamanlarda tekrar edilir.



## 2.2. ManTRA

Yöntem, çalışanın işi yaptığı normal bir günündeki toplam zamanı ve ara vermeden işin yapıldığı normal zamanı değerlendirerek; çevrim zamanı, kuvvet, hız, uygunsuzluk ve titreşim bileşenlerini kullanır. Vücudun 4 vücut bölgesi ve görevin 5 özelliği ile ilgili bilgiler birleştirilerek bir değerlendirme yapılır. ManTRA yönteminde kullanılan kodlar, toplam zaman, tekrarlama, süre, çevrim zamanı, tekrarlama risk faktörü, kuvvet, hız, çaba risk faktörü, uygunsuzluk ve titreşim (tüm vücut veya çevresel) olarak verilmektedir (Limerick, 2016; Yürek, 2018).

- Toplam zaman: Normal bir iş gününde işin yapılması için geçen toplam zamanı ifade etmektedir. Vücudun her bir bölgesi için kod ayıdır.
- Tekrarlama: Yapılan işlerin çevrim zamanının kısa olması ve uzun süre yapılması risk faktörü olarak ele alınır; çünkü iş yapıldığı zaman boyunca kaçınılmaksızın aynı noktaya yüklenme yapılır. Çevrim süresi dikkate alınmaksızın, aralıksız çok uzun süre yapılan işlerde (2 saatten fazla) aynı şekilde risk vardır. Az risk, kısa iş süresi ve uzun çevrim zamanlı işlerle ilişkilendirilir. Çevrim zamanı ve işin süresi birbirinden bağımsız olarak ele alınır. Sonrasında tekrarlama risk faktörü için birleştirilmiş puan kullanılır.
- Süre: Dinlenme arası veya farklı bir işle önemli bir kesinti olmadan, yapılan işteki tekrarlamaların olduğu zamanın normal uzunluğu olarak tanımlanmaktadır.
- Çevrim zamanı: Aralıksız olarak birden çok yapılan iş süresidir. Çevrim zamanı kodu vücut bölümlerinde farklı olarak görülmektedir. Eğer iş tekrarlama olmadan herhangi bir zamanda bir kere yapılıyorsa, çevrim zamanı kodu 1 olarak ele alınır.
- Tekrarlama risk faktörü: Tekrarlama kodu belli bir işte bütün vücut bölgeleri için aynı kabul edilir. Tekrarlama toplam puanı için çevrim zamanı ve süre kodları birleştirilerek alınır.
- Kuvvet: En çok harcanan çabaya göre, vücudun her bir bölgesinin harcadığı kuvvet değerlendirmeye alınır. Değerlendirme, mutlak kuvvete göre değil, bölgenin güç yeteneğine göre yapılır. Kuvvetin değerlendirilmesi, işi yapan kişiye göre farklılık gösterir. İhtiyaç olan kuvvet için, çabanın süresinden bağımsız olarak puanlama yapılır.
- Hız: Yapılan işin yavaş ve orta derecede hareketlerden oluşması risk seviyesini minimuma indirmektedir. Bölgede statik kuvvet uygulayan işler kas iskelet yaralanmalarına neden olmaktadır. Bununla birlikte, hızlı hareket, hızlı ivmelenme ve yavaşlama yüksek risk oluşturmaktadır. Değerlendirme yapılırken tüm işi kapsayacak şekilde, bazı hızlı hareketler olsa da genellikle yavaş hareketleri içeren işler, orta hızlı hareket olarak değerlendirmeye alınır.
- Çaba risk faktörü: Kuvvet ve hız kodlarının birleştirilmesiyle çaba risk faktörü puanlaması elde edilir.
- Uygunsuzluk: Uygunsuzluğun tek başına değerlendirilmesi çok zordur. Ama genellikle hareketin normal durumundan önemli sapmalar meydana geldiği duruşlarda yaralanma riski artmaktadır. Değerlendirme yapılırken, iş bir bütün halinde ele alınır ve uygunsuz duruşta geçen sürenin oranı yansıtılacak biçimde düzenlenir. Çalışanın vücut duruşuna göre belirlenen sırt, boyun/omuzlar, kol/bilek/el ve bacak bölgeleri uygun şekilde kodlanır.
- Titreşim: Diğer risk faktörlerine ek olarak tüm vücut titreşimine uğramak; özellikle sırt, bel ve alt kısım yaralanma riski oranını arttırmaktadır. Ayrıca çevresel titreşim, üst kısım rahatsızlıkların ilk risk faktörüdür. Neticede; alt kısım, sırt ve boyun bölgeleri için tüm vücut titreşimine şiddet; omuz/kol ve bilek/el bölgeleri için evrensel titreşimin şiddeti ele alınır. Tüm işin puanlaması, maruz kalınan zamanın iş içerisindeki oranına göre yapılır.

Uygulamada, yukarıda verilen kodlardan elde edilen puanlar toplanarak birikimli risk faktörü ve birikimli risk puanı elde edilir. Birikimli risk puanı 5-25 puan arasında yer alır.

## 2.3. REBA

REBA yöntemi, Hignett ve McAtamney (2000) tarafından vücut duruşlarını değerlendirmek üzere geliştirilmiştir. Elle yapılan kaldırma, taşıma işlerindeki riskleri değerlendirmede kullanılan ve olumlu sonuçlar veren bir yöntemdir. REBA yöntemi ile dinamik hareketlerden başka statik duruşlarda da değerlendirme yapılabilir (Kocabeş, 2009). Bu sayede, çalışanın vücut duruşuna ilgili riskler daha kapsamlı olarak REBA yöntemi ile değerlendirme imkanı sağlanmaktadır (Stanton vd., 2005).

REBA yönteminde gözlemlenen duruşlar genel olarak iki sınıfta toplanarak değerlendirilmektedir. Grup A olarak adlandırılan gövde, boyun ve bacak duruş/hareketlerini, Grup B'de ise üst kollar, alt kollar ve bilek duruş/hareketlerini içermektedir. Duruş/hareketlerin şekillerinden elde edilen veriler ile ilgili tablolar kullanılarak grup bazında vücut bölümlerinin puanlaması elde edilir (Yürek, 2018). Duruş/hareket şekillerinde yer alan fleksiyon hareketinde bükülme veya eklem açısının küçülmesi, ekstansiyonda ise gerilme ya da eklem açısının büyümesi söz konusudur.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Yol inşaatı şantiyelerinde ergonomik risk değerlendirmesi yol ince işlerini yapan yol çizgi ekibinde uygulanmıştır. Çalışmanın amacına uygun olarak ilk önce yol çizgi işinde mevcut risk durumları incelenmiş ve bu risk durumlarına öngörülen ergonomik risk değerlendirme yöntemleri seçilmiştir. Daha sonra yol çizgi çalışması yapılan şantiye alanı incelenmiş ve yapılan işlere ergonomik risk değerlendirmesi yapılmıştır. Ergonomik risk yöntemleri uygulanırken duruş, kuvvet, tekrarlama ve süreklilik risk faktörlerinin farklı bileşimi kullanılarak her bir yöntemin işlere olan duyarlılıkları belirlenmiştir. Şantiyede kas iskelet sistemi rahatsızlığı oluşumuna neden olabilecek işler, ergonomik risk değerlendirmesi sonucu ortaya çıkmıştır.

Yöntemlerden elde edilen verilerin karşılaştırılması amacıyla, yöntemlerde mümkün olan en büyük sonuç puanı ile elde edilen sonuç puanı kullanılarak risk yüzdesine dönüştürülmüştür. Ergonomik risk değerlendirmesi yüzdesini belirlemek için Tablo 2 kullanılmıştır.

Tablo 2. Örnek Ergonomik Risk Değerlendirmesi Risk Yüzdesi Belirleme

Yöntem	Elde Edilen Sonuç	Mümkün En Büyük Sonuç	Risk Yüzdesi
OWAS	2	4	%50
REBA	8	15	%53
ManTRA	3	5	%60

OWAS ve REBA yöntemlerinde mümkün en büyük sonuç sabit bir değer iken, ManTRA yönteminde mümkün en büyük sonuç değişmektedir. ManTRA yönteminde elde edilen çaba risk faktörü, çaba risk faktörü+uygunsuzluk ve birikimli risk puanlarından hangisinin değeri ve risk yüzdesi yüksek, düzenleme gerekli olup olmadığı o risk yüzdesine göre karar verilir.

Yöntemlerin sonuçlarından elde edilen verilerin karşılaştırılması ve böylece hangi risk faktörlerinin duyarlılıklarının belirlenmesi amacıyla her bir iş için aşağıdaki tablolar oluşturulmuştur.

Tablo 3. İş 1 İçin Yapılan Ergonomik Risk Değerlendirmesi Sonucu

İşin Adı	İkmal Yapılacak Boya Tenekesinin İstif Yerinden İndirilmesi İş	
Yöntemin Adı	Değerlendirme Sonucu	Risk Yüzdesi
OWAS	Çalışanın kas iskelet sistemine zararlı etkilere neden olan bir durumda olduğu için düzenleme en kısa zamanda yapılmalıdır.	%75
REBA	Risk düzeyi yüksek olarak çıkmaktadır ve yakın zamanda bu iş için iyileştirme gerektirmektedir.	%53
ManTRA	Sırt, boyun/omuzlar, kol/bilek/el ve bacak bölgeleri için düzenleyici işlem önceliği mevcuttur	%100

Tablo 3 incelendiğinde ikmal yapılacak boya tenekesinin istif yerinden indirilmesi işinde risk yüzdesi bakımından en yüksek sonucun ManTRA yöntemi ile elde edildiği görülmektedir. Çaba risk faktörü 5 olarak hesaplandığı için risk yüzdesi en yüksek değeri vermektedir. ManTRA yöntemine göre kol/bilek/el bölgeleri için düzenleyici işlem önceliği mevcuttur sonucu elde edilmiştir. OWAS yöntemi ikinci olarak en yüksek risk yüzdesini vermektedir ve bu sonuca göre çalışanın kas iskelet sistemine zararlı etkilere neden olan bir durum olduğu için en kısa zamanda düzenleme yapılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. REBA yöntemi sonu risk yüzdesi bakımında son sırada yer almaktadır. Fakat eylem önceliği bakımından risk düzeyi yüksek çıktığı için yakın bir zamanda ikmal yapılacak boya tenekesinin istif yerinden indirilmesi işi için iyileştirme gereklidir sonucunu vermektedir. Tüm yöntemlerden elde edilen sonuçlara bakılarak ikmal yapılacak boya tenekesinin istif yerinden indirilmesi işi çalışanın kas iskelet sistemine zararlı etkilere neden olmaktadır. Sonuç olarak, çalışanın sırt, boyun/omuz ve kol/bilek/el bölgelerinde yakın bir zamanda düzenleyici işlem yapılması gerektiği tespit edilmiştir.

Tablo 4. İş 2 İçin Yapılan Ergonomik Risk Değerlendirmesi Sonucu

İşin Adı	İndirilen Boya Tenekesinin Dolum Yerine Getirilmesi İş	
Yöntemin Adı	Değerlendirme Sonucu	Risk Yüzdesi
OWAS	Çalışanın kas iskelet sistemine zararlı etkilere neden olan bir durumda olmadığı için düzenleme gerekli değildir.	%25
REBA	Risk düzeyi orta olarak çıkmaktadır ve bu iş için iyileştirme gereklidir.	%26
ManTRA	Sırt, boyun/omuzlar ve kol/bilek/el bölgelerinde düzenleyici işlem önceliği mevcuttur.	%66

Boya tenekesinin dolum yerine getirilmesi işinde risk yüzdesi bakımından en iyi sonuç ManTRA yöntemiyle elde edilmiştir. Birikimli risk puanı 10 olarak hesaplanmıştır (Tablo 4). Bu sonuca göre düzenleyici işlem önceliği bulunduğu sonucu elde edilmiştir. Fakat eylem seviyesi açısından incelendiğinde ise REBA yönteminde risk düzeyi orta ve iyileştirme yapılması gereklidir sonucunu vermektedir. OWAS yöntemi açısından bakıldığında risk yüzdesi ikinci sırada ve çalışanın kas iskelet sistemine zararlı etkilere neden olan bir durum olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Tüm yöntemlerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde indirilen boya tenekesinin dolum yerine getirilmesi işinde vücut bölümlerinden sırt, boyun/omuzlar ve kol/bilek/el bölgesi etkilenmekte olup bu iş için iyileştirme gerektiği belirlenmiştir.

Tablo 5. İş 3 İçin Yapılan Ergonomik Risk Değerlendirmesi Sonucu

İşin Adı	Dolum Yapılacak Tenekenin Ağzının Spatula İle Açılması İş	
Yöntemin Adı	Değerlendirme Sonucu	Risk Yüzdesi
OWAS	Çalışanın kas iskelet sistemine zararlı etkilere neden olan bir durumda olduğu için düzenleme en kısa zamanda yapılmalıdır.	%75
REBA	Risk düzeyi orta olarak çıkmaktadır. Bu sonuca göre bu iş için iyileştirme gereklidir.	%33
ManTRA	Düzenleyici işlem önceliği yoktur.	%53

Tablo 5 incelendiğinde dolum yapılacak tenekenin ağzının spatula ile açılması işinde risk yüzdesi bakımında OWAS yöntemi en yüksek değeri vermektedir. Eylem önceliği bakımından incelendiğinde OWAS yöntemi sonucuna göre çalışanın kas iskelet sistemine zararlı etkilere neden olan bir durumda olduğu için düzenleme en kısa zamanda yapılmalıdır. REBA yöntemi sonucu incelendiğinde

risk yüzdesi düşük çıkmasına rağmen risk düzeyi orta çıkmıştır ve bu iş için iyileştirme gereklidir sonucu elde edilmiştir. ManTRA yöntemi risk yüzdesi ikinci sırada olmasına rağmen eylem düzeyi açısından işlem önceliği yoktur sonucunu vermiştir. Bu sonuç birikimli risk puanının 8 olarak hesaplanması sonucunda görülmüştür. Tüm yöntemler incelendiğinde çalışanın kas iskelet sistemine zararlı etki eden durumların olduğu ve sırt, boyun/omuz kol/bilek/el ve bacak bölgelerinde yakın bir zamanda düzenleyici işlem yapılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 6. İş 4 İçin Yapılan Ergonomik Risk Değerlendirmesi Sonucu

İşin Adı	Ağız Açılan Tenekedeki Boyanın Mikser İle Karıştırılması İş	
Yöntemin Adı	Değerlendirme Sonucu	Risk Yüzdesi
OWAS	Çalışanın kas iskelet sistemine etki eden zorlanma durumu fazla değildir. Düzenleme yakın bir zamanda yapılmalıdır.	%50
REBA	Risk düzeyi orta olarak çıkmaktadır. Bu sonuca göre bu iş için iyileştirme gereklidir.	%33
ManTRA	Sırt, boyun/omuzlar ve kol/bilek/el bölgesi için düzenleyici işlem önceliği mevcuttur.	%100

Ağız açılan tenekedeki boyanın mikser ile karıştırılması işinde en büyük risk yüzdesi ManTRA yöntemiyle elde edilmiştir (Tablo 6). Birikimli risk puanı 15 olarak hesaplanmıştır. ManTRA yöntemi ile elde edilen sonuca göre sırt, kol/omuzlar ve kol/bilek/el bölgesi için düzenleyici işlem önceliği mevcuttur. Eylem seviyesi açısından bakıldığında ise OWAS yönteminin sonucunda çalışanın kas iskelet sistemine etki eden zorlanma durumu fazla değildir ve düzenleme yakın bir zamanda yapılmalıdır. REBA yöntemi sonucunda ise risk düzeyi orta olarak çıkmaktadır ve bu sonuca göre iyileştirme gereklidir olarak elde edilmiştir. Bu iki yöntem de aynı sonucu vermektedir. Tüm yöntemler incelendiğinde ağız açılan tenekedeki boyanın mikser ile karıştırılması işinde çalışanın kas iskelet sistemine etki eden zorlama durumları olduğu saptanmıştır. Çalışanın sırt, boyun/omuz ve kol/bilek/el bilek bölgelerinde yakın bir zamanda düzenleyici eylem gerekmektedir.

Tablo 7. İş 5 İçin Yapılan Ergonomik Risk Değerlendirmesi Sonucu

İşin Adı	Mikser İle Karıştırılan Boyanın İkmal Kazanına Dökülmesi İş	
Yöntemin Adı	Değerlendirme Sonucu	Risk Yüzdesi
OWAS	Çalışanın kas iskelet sistemine etki eden bir zorlanma durumu olmadığı için düzenleme gerekli değildir.	%25
REBA	Risk düzeyi orta olarak çıkmaktadır. Bu sonuca göre bu iş için iyileştirme gereklidir.	%27
ManTRA	Sırt, boyun/omuzlar ve kol/bilek/el bölgelerinde düzenleyici işlem önceliği mevcuttur.	%100

Tablo 7'deki veriler değerlendirildiğinde mikser ile karıştırılan boyanın ikmal kazanına dökülmesi işinde en büyük risk yüzdesi ManTRA yöntemi ile elde edilmiştir. Çaba risk faktörü 5 olarak hesaplanmıştır. ManTRA yöntemi elde edilen sonuca göre boyun/omuzlar ve kol/bilek/el bölgelerinde düzenleyici işlem önceliği mevcuttur. OWAS ve REBA yöntemleri ile elde edilen risk yüzdeleri aynıdır. Eylem seviyesi bakımında incelendiğinde OWAS yönteminde çalışanın kas iskelet sistemine etki eden bir zorlanma durumu olmadığı için düzenleme gerekli olmadığı sonucu elde edilirken, REBA yöntemi ile risk düzeyi orta olarak çıkmaktadır ve iyileştirme gereklidir sonucuna ulaşılmıştır. Tüm yöntemlerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde çalışanın kas iskelet sistemine etki eden bir zorlanma durumu olmaktadır. Çalışanın sırt, boyun/omuzlar ve kol/bilek/el bölgelerinde düzenleyici eylem gerekmektedir.

Tablo 8. İş 6 İçin Yapılan Ergonomik Risk Değerlendirmesi Sonucu

İşin Adı	Cam Küreciklerinin İstif Yerinden İndirilmesi	
Yöntemin Adı	Değerlendirme Sonucu	Risk Yüzdesi
OWAS	Çalışanın kas iskelet sistemine etki eden bir zorlanma durumu olmadığı için düzenleme gerekli değildir.	%25
REBA	Risk düzeyi orta olarak çıkmaktadır. Bu sonuca göre bu iş için iyileştirme gereklidir.	%27
ManTRA	Sırt ve kol/bilek/el bölgelerinde düzenleyici işlem önceliği mevcuttur.	%100

Cam küreciklerinin istif yerinden indirilmesi işinde risk yüzdesi bakımından en iyi sonucu ManTRA yöntemi vermektedir (Tablo 8). Çaba risk faktörü puanı 5 olup çalışanın sırt ve kol/bilek/el bölgelerinde düzenleyici işlem önceliği mevcuttur sonucunu vermektedir. Risk yüzdesi bakımından OWAS ve REBA yöntemleri aynı sonucu vermektedir. Eylem seviyesi bakımından REBA yöntemi bu iş için iyileştirme gereklidir sonucunu verirken OWAS yöntemi düzenleme gerekli değildir sonucunu vermektedir. Tüm yöntemlerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde ise çalışanın sırt ve kol/bilek/el bölgesinde düzenleyici işlem gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 9. İş 7 İçin Yapılan Ergonomik Risk Değerlendirmesi Sonucu

İşin Adı	İndirilen Cam Küreciklerinin Dolum Yerine Getirilmesi	
Yöntemin Adı	Değerlendirme Sonucu	Risk Yüzdesi
OWAS	Çalışanın kas iskelet sistemine etki eden bir zorlanma durumu olmadığı için düzenleme gerekli değildir.	%25
REBA	Risk düzeyi orta olarak çıkmaktadır. Bu sonuca göre bu iş için iyileştirme gereklidir.	%27
ManTRA	Sırt, boyun/omuzlar, kol/bilek/el ve bacak bölgeleri için düzenleyici işlem önceliği mevcuttur.	%63

İndirilen cam küreciklerinin dolum yerine getirilmesi işinde en yüksek risk yüzdesini ManTRA vermekte olup, birikimli risk puanı 10 olarak hesaplanmıştır (Tablo 9). Bu sonuca göre çalışanın sırt, boyun/omuzlar, kol/bilek/el ve bacak bölgeleri için düzenleyici işlem önceliği mevcuttur sonucuna ulaşılmıştır. OWAS ve REBA yöntemlerinin risk yüzdeleri aynıdır. Fakat eylem düzeyiz açısından bakıldığında REBA yönteminde bu iş için iyileştirme gereklidir sonucunu vermektedir. Tüm yöntemlerden elde edilen sonuçlara bakılarak indirilen cam küreciklerinin dolum yerine getirilmesi işinde sırt, boyun/omuzlar, kol/bilek/el ve bacak bölgelerinde düzenleyici işlem gereklidir sonucuna varılmıştır.

Tablo 10. İş 8 İçin Yapılan Ergonomik Risk Değerlendirmesi Sonucu

İşin Adı	Dolum Yerine Getirilen Cam Küreciği Çuvallarının Maket Bıçağı İle Ağızın Açılması	
Yöntemin Adı	Değerlendirme Sonucu	Risk Yüzdesi
OWAS	Çalışanın kas iskelet sistemine etki eden bir zorlanma durumu olmadığı için düzenleme gerekli değildir.	%25
REBA	Risk düzeyi orta olarak çıkmaktadır. Bu sonuca göre bu iş için iyileştirme gereklidir.	%27
ManTRA	Düzenleyici işlem önceliği yoktur.	%47

Dolum yerine getirilen cam küreciği çuvallarının maket bıçağı ile ağızın açılması işinde, Tablo 10'a göre ManTRA yöntemi risk yüzdesi bakımından en iyi sonucu vermektedir. ManTRA yöntemine göre bu iş için düzenleyici işlem önceliği yoktur. OWAS ve REBA yöntemleri risk yüzdesi bakımından incelendiğinde aynı sonucu vermektedir. OWAS yöntemi değerlendirilmesi çalışanın kas iskelet sistemine etki eden bir zorlama durumu olmadığını ve düzenleme gerekli değildir sonucunu vermektedir. REBA yöntemi ise orta risk düzeyi ile bu iş için iyileştirme gereklidir sonucunu vermektedir. Tüm yöntemlerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde bu iş için kol/bilek/el bölgesinde düzenleyici eylem gerekmektedir.

Tablo 11. İş 9 İçin Yapılan Ergonomik Risk Değerlendirmesi Sonucu

İşin Adı	Ağız Açılan Cam Küreciği Çuvallarının Çizgi Arabasına Dökülmesi İş	
Yöntemin Adı	Değerlendirme Sonucu	Risk Yüzdesi
OWAS	Çalışanın kas iskelet sistemine etki eden bir zorlanma durumu olmadığı için düzenleme gerekli değildir.	%25
REBA	Risk düzeyi orta olarak çıkmaktadır. Bu sonuca göre bu iş için iyileştirme gereklidir.	%40
ManTRA	Boyun/omuzlar ve kol/bilek/el bölgelerinde düzenleyici işlem önceliği mevcuttur.	%100

Tablo 11'de verilen sonuçlara göre, ağız açılan cam küreciği çuvallarının çizgi arabasına dökülmesi işinde risk yüzdesi bakımından en iyi sonucu ManTRA yöntemi vermektedir. Çaba risk puanı 5 olarak elde edilen ManTRA yöntemi sonucuna göre boyun /omuzlar ve kol/bilek/el bölgelerinde düzenleyici işlem önceliği mevcuttur. İkinci olarak en iyi risk yüzdesini REBA yöntemi ayrıca en yüksek eylem seviyesi sonucunu vermektedir. Bu sonuca göre risk düzeyi orta olup iyileştirme gereklidir. OWAS yöntemi sonucunda ise çalışanın kas iskelet sistemine etki eden bir zorlama durumu olmadığı için düzenleme gerekli değildir. Tüm yöntemlerden elde edilen sonuçlara bakılarak bu iş için çalışanın kas iskelet sistemine etki eden bir zorlama durumu olduğu saptanmıştır. Sırt, Boyun/omuz ve kol/bilek/el bölgelerinde düzenleyici işlem önceliği mevcuttur.

Tablo 12. İş 10 İçin Yapılan Ergonomik Risk Değerlendirmesi Sonucu

İşin Adı	Çizgi Arka Operatörünün Çizgi Aparat Direksiyonu İle Açma-Kapama Yapması İş	
Yöntemin Adı	Değerlendirme Sonucu	Risk Yüzdesi
OWAS	Çalışanın kas iskelet sistemine etki eden bir zorlanma durumu olmadığı için düzenleme gerekli değildir.	%25
REBA	Risk düzeyi orta olarak çıkmaktadır. Bu sonuca göre bu iş için iyileştirme gereklidir.	%40
ManTRA	Sırt ve kol/bilek/el bölgelerinde düzenleyici işlem önceliği mevcuttur.	%60

Çizgi arka operatörünün çizgi aparat direksiyonu ile açma-kapama yapması işinde Tablo 12 incelendiğinden en yüksek risk yüzdesini ManTRA yöntemi vermektedir. Birikimli risk puanı 9 olarak hesaplanmıştır. Sonuç bakımından sırt ve kol/bilek/el

bölgelerinde düzenleyici işlem önceliği mevcuttur sonucuna ulaşılmaktadır. Eylem seviyesi bakımından en iyi sonucu REBA yöntemi vermekte ve orta risk düzeyi ile bu iş için iyileştirme gereklidir sonucunu vermektedir. OWAS yöntemi hem risk yüzdesi hemde eylem seviyesi bakımından son sırada yer almaktadır. OWAS yöntemine göre çalışanın kas iskelet sistemine etki eden bir zorlama durumu olmadığı için iyileştirme gerekli değildir. Tüm yöntemlerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde bu iş için sırt ve kol/bilek/el bölgesinde düzenleyici işlem gereklidir.

Tablo 13 incelendiğinde çizgi ön operatörünün çizgi arabasını sürmesi işinde risk yüzdesi bakımından en iyi sonucu ManTRA yöntemi vermektedir. ManTRA yöntemine göre bu iş için düzenleyici işlem önceliği yoktur. OWAS ve REBA yöntemlerinden elde edilen risk yüzdeleri aynı olmasında rağmen REBA yöntemi eylem seviyesi bakımından en yüksek sonucu vermektedir. Bu sonuca göre risk düzeyi orta çıkmakta ve bu iş için iyileştirme gereklidir sonucunu vermektedir. OWAS yöntemi ise eylem seviyesi bakımından bu iş için düzenleme gerekli değildir sonucunu vermektedir. Tüm yöntemlerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde çizgi ön operatörünün çizgi arabasını sürmesi işinde sırt ve kol/bilek/el bölgesinde düzenleyici işlem gereklidir.

Tablo 13. İş 11 İçin Yapılan Ergonomik Risk Değerlendirmesi Sonucu

İşin Adı	Çizgi Ön Operatörünün Çizgi Arabasını Sürmesi İş	
Yöntemin Adı	Değerlendirme Sonucu	Risk Yüzdesi
OWAS	Çalışanın kas iskelet sistemine etki eden bir zorlanma durumu olmadığı için düzenleme gerekli değildir.	%25
REBA	Risk düzeyi orta olarak çıkmaktadır. Bu sonuca göre bu iş için iyileştirme gereklidir.	%27
ManTRA	Düzenleyici işlem önceliği yoktur.	%53

Tablo 14. İş 12 İçin Yapılan Ergonomik Risk Değerlendirmesi Sonucu

İşin Adı	Yol Çizgi İş Yapıldıktan Hemen Sonra Konilerin Yola Dizilmesi İş	
Yöntemin Adı	Değerlendirme Sonucu	Risk Yüzdesi
OWAS	Çalışanın kas iskelet sistemine etki eden bir zorlanma durumu olmadığı için düzenleme gerekli değildir.	%25
REBA	Risk düzeyi orta olarak çıkmaktadır. Bu sonuca göre bu iş için iyileştirme gereklidir.	%33
ManTRA	Sırt ve boyun/omuzlar bölgelerinde düzenleyici işlem önceliği mevcuttur.	%73

Yol çizgi işi yapıldıktan hemen sonra konilerin yola dizilmesi işinde, risk yüzdesi bakımından en iyi sonucu ManTRA yöntemi vermektedir (Tablo 14). Birikimli risk puanı 11 olarak hesaplanan ManTRA yöntemi sonucuna göre sırt ve boyun/omuzlar bölgelerinde düzenleyici işlem önceliği mevcuttur. REBA ve OWAS yöntemi risk yüzdeleri birbirine çok yakın sonuçlar vermektedir. Eylem seviyesi bakımından en iyi sonucu REBA yöntemi vermiştir. Sonuca göre risk düzeyi orta çıkmakta ve bu iş için düzenleyici işlem gereklidir. OWAS yöntemi hem risk yüzdesi hemde eylem seviyesi bakımından son sıradadır. OWAS yöntemine göre çalışanın kas iskelet sistemine etki eden bir zorlama durumu olmadığı için düzenleme gerekli değildir. Tüm yöntemlerden elde edilen sonuçlar bakımından yol çizgi işi yapıldıktan hemen sonra konilerin yola dizilmesi işinde sırt, boyun/omuzlar ve kol/bilek/el bölgelerinde düzenleyici işlem gereklidir.

Tablo 15. İş 13 İçin Yapılan Ergonomik Risk Değerlendirmesi Sonucu

İşin Adı	Yol Çizgi İş Yapıldıktan Hemen Sonra Konilerin Geri Toplanması İş	
Yöntemin Adı	Değerlendirme Sonucu	Risk Yüzdesi
OWAS	Çalışanın kas iskelet sistemine zararlı etkilere neden olan az zorlanma durumu olduğu için yakın bir zamanda düzenleme gerektirmektedir.	%50
REBA	Risk düzeyi orta olarak çıkmaktadır. Bu sonuca göre bu iş için iyileştirme gereklidir.	%33
ManTRA	Sırt, boyun/omuzlar ve kol/bilek/el bölgelerinde düzenleyici işlem önceliği mevcuttur.	%73

Tablo 15 incelendiğinde yol çizgi işi yapıldıktan hemen sonra konilerin geri toplanması işinde en yüksek risk yüzdesini ManTRA yöntemi vermektedir. Birikimli risk puanı 11 olarak hesaplanan bu iş için sırt, boyun/omuzlar ve kol/bilek/el bölgelerinde düzenleyici işlem önceliği mevcuttur sonucu elde edilmiştir. Eylem seviyesi bakımından OWAS ve REBA yöntemleri benzer sonucu vermektedir. OWAS yöntemi sonucunda çalışanın kas iskelet sistemine zararlı etkilere neden olan zorlanma durumu olduğu için yakın zamanda düzenleme gereklidir sonucuna ulaşılmıştır. Yine REBA yöntemi sonucunda risk düzeyi orta çıkmakta ve bu iş için düzenleyici işlem gerekmektedir sonucunu vermektedir. Tüm yöntemler birlikte değerlendirildiğinde, çalışanın kas iskelet sistemine etki eden bir zorlama durumu olduğundan yakın bir zamanda sırt, boyun/omuzlar ve kol/bilek/el bölgelerinde düzenleyici işlem gerektiği sonucuna ulaşılmaktadır.

Yol inşaatı şantiyelerinde, ince işlerden yol çizgisi yapım işinde çalışanlar için yapılan ergonomik risk değerlendirme sonuçları aşağıda verilmektedir;



- İkmal yapılacak boya tenekesinin istif yerinden indirilmesi işi çalışanın kas iskelet sistemine zararlı etkilere neden olmaktadır. Çalışanın bu işi yaparken en fazla etkilenen vücut bölümlerinin sırt, boyun/omuz, kol/bilek/el ve bacak bölgelerinde olduğu belirlenmiştir. Bu iş ile ilgili yakın bir zamanda düzenleyici işlem yapılması gerekmektedir.
- İndirilen boya tenekesinin dolum yerine getirilmesi işi çalışanın kas iskelet sistemine zararlı etkilere neden olmaktadır. Çalışanın bu işi yaparken en fazla etkilenen vücut bölümlerinden sırt, boyun/omuzlar ve kol/bilek/el bölgelerinde olup bu iş için iyileştirme gereklidir.
- Dolum yapılacak tenekenin ağzının spatula ile açılması işinde çalışanın kas iskelet sistemine zararlı etki eden durumların olduğu ve vücudun bölümlerinden sırt, boyun/omuz, kol/bilek/el ve bacak bölgelerinde yakın bir zamanda düzenleyici işlem yapılması gerekmektedir.
- Ağız açılan tenekedeki boyanın mikser ile karıştırılması işinde çalışanın kas iskelet sistemine etki eden zorlama durumları olduğu saptanmıştır. Çalışanın sırt, boyun/omuz ve kol/bilek/el bilek bölgelerinde yakın bir zamanda düzenleyici eylem gerekmektedir.
- Mikser ile karıştırılan boyanın ikmal kazanına dökülmesi işinde çalışanın kas iskelet sistemine etki eden bir zorlanma durumu olmaktadır. Çalışanın sırt, boyun/omuzlar ve kol/bilek/el bölgelerinde düzenleyici eylem gerekmektedir.
- Cam küreciklerinin istif yerinden indirilmesi işinde elde edilen sonuçlar incelendiğinde ise çalışanın sırt ve kol/bilek/el bölgesinde düzenleyici işlem gerekmektedir.
- İndirilen cam küreciklerinin dolum yerine getirilmesi işinde elde edilen sonuçlara bakılarak çalışanın sırt, boyun/omuzlar, kol/bilek/el ve bacak bölgelerinde düzenleyici işlem gerekmektedir.
- Dolum yerine getirilen cam küreciği çuvallarının maket bıçağı ile ağzının açılması işinde yöntemlerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde çalışanın vücut bölümlerinden kol/bilek/el bölgesinde düzenleyici eylem gerekmektedir.
- Ağız açılan cam küreciği çuvallarının çizgi arabasına dökülmesi işinde elde edilen sonuçlara bakılarak çalışanın kas iskelet sistemine etki eden bir zorlama durumu olduğu saptanmıştır. Sırt, boyun/omuz ve kol/bilek/el bölgelerinde düzenleyici işlem önceliği mevcuttur.
- Çizgi arka operatörünün çizgi aparat direksiyonu ile açma-kapama yapması işinde edilen sonuçlar incelendiğinde çalışanın vücudun bölümlerinden sırt ve kol/bilek/el bölgesinde düzenleyici işlem gerekmektedir.
- Çizgi ön operatörünün çizgi arabasını sürmesi işinde elde edilen sonuçlar incelendiğinde çalışanın vücut bölümlerinden sırt ve kol/bilek/el bölgesinde düzenleyici işlem gerekmektedir.
- Yol çizgi işi yapıldıktan hemen sonra konilerin yola dizilmesi işinde elde edilen sonuçlar bakımından çalışanın vücut bölümlerinden sırt, boyun/omuzlar ve kol/bilek/el bölgelerinde düzenleyici işlem gerekmektedir.
- Yol çizgi işi yapıldıktan hemen sonra konilerin geri toplanması işinde elde edilen sonuçlar ile birlikte çalışanın kas iskelet sistemine etki eden bir zorlama durumu olduğundan yakın bir zaman vücudun bölümlerinden sırt, boyun/omuzlar ve kol/bilek/el bölgelerinde düzenleyici işlem gerekmektedir.

Uygulanan yöntemler ayrı ayrı değerlendirildiğinde ise aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- OWAS yöntemi için; 9 işin kas iskelet sistemine zararlı etkileri olmadığı ve düzenleme gerektirmediği, 2 işin kas iskelet sistemine bazı zararlı etkileri olduğu ve düzenlemenin yakın bir zamanda yapılması gerektiği, 2 işin kas iskelet sistemine zararlı etkilerinin olduğu ve düzenlemenin en kısa zamanda yapılması gerektiği sonucunu vermiştir.
- REBA yöntemi için; 1 işin risk düzeyinin düşük olduğu ve düzenleme yapılması gerekebilir, 11 işin risk düzeyinin orta olduğu ve düzenleme yapılması gerektiği, 1 işin yüksek riski olduğu ve düzenlemenin yakın zamanda yapılması gerektiği sonucunu vermiştir.
- ManTRA yöntemi için; 3 iş için eylem önceliği yok iken 2 iş için sırt, boyun/omuzlar, kol/bilek/el ve bacak bölgesinde, 2 iş için sırt ve kol/bilek/el bölgesinde, 4 iş için sırt, boyun/omuzlar ve kol/bilek/el bölgesinde, 1 iş için sırt ve boyun/omuzlar bölgesinde, 1 iş için boyun/omuzlar ve kol/bilek/el bölgesinde eylem önceliği mevcuttur sonucunu vermiştir.

Ergonomik risk değerlendirmesinde kullanılan yöntemler ve verdiği sonuçlar incelendiğinde ManTRA yöntemi en yüksek risk yüzdesini vermektedir. ManTRA yönteminin risk yüzdesi bakımından en yüksek sonucu vermesinin nedeni kuvvet ve kuvvet uygulama hızına dayalı olarak elde edilen çaba risk faktörü değerine göre de risk yüzdesinin belirlenebilmesidir. Ayrıca ManTRA yöntemi vücut bölümleri ile ilgili ayrıntılı değerlendirme sonuçları sağlamaktadır. Ama yapılan işin öncelik bakımından düzenleme yapıp yapılmayacağı konusunda tek başına yeterli değildir. Diğer risk değerlendirme yöntemleri ile birlikte kullanıldığında işin risk düzeyini desteklemektedir. Eylem seviyesi açısından OWAS ve REBA yöntemlerin benzer sonuçlar elde edilmiştir. Risk değerlendirmenin temel amacına uygun olarak eylem seviyesi açısından en iyi sonucu OWAS ve REBA yöntemleri vermektedir. OWAS veya REBA yöntemi ile elde edilen eylem seviyesi ile birlikte ManTRA yönteminden elde edilen işlem önceliği birlikte kullanılarak vücudun odaklanması gereken bölümü belirlenmektedir.

#### 4. Sonuç

Yapılan ergonomik risk değerlendirmesi sonucunda yol çizgi çalışma ekibinde kas iskelet sisteminde zorlamaya neden olan işler belirlenmiştir. İncelenen işlerden birkaç tanesi dışında diğer tüm işlerde yakın zamanda iyileştirme yapılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu işlerde vücudun en çok zorlanan sırt, boyun/omuzlar, kol/bilek/el ve bacak bölgelerinde kas iskelet sistemi rahatsızlığına neden olacak durumlar sunulmuştur. Ergonomik risk değerlendirmesi sonucunda çalışan ile kullanılan uygun makine-araç arasındaki önem ortaya koyulmuştur. Çalışma şartlarının uygunluğu ve her türlü koruyucu önlemlerin alınması, hem meslek hastalıklarının minimum düzeye inmesine hemde çalışanların daha verimli üretimde bulunmalarını sağlayacaktır. Yapılan bu çalışmalar ekipte çalışma isteğini yükseltmekte ve çalışanların ergonomik riskler konusunda farkındalıklarını arttırmaktadır.

## Kaynakça

- Akay, D.A. & Dağdeviren, M. (2003). Çalışma Duruşlarının Ergonomik Analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18 (3), 73-84.
- Aksöyek, A. R. (2002). *Türk İnşaat Sektöründe İş Kazalarının ve İş Güvenliği Sorununun İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Atasoy Mert, E. (2014). *Ergonomik Risk Değerlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması ve Bir Çanta İmalat Atölyesinde Uygulanması*, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü.
- Corlett, N., Wilson, J., Manenica, I., (1985). The Ergonomics of Working Postures, *International Occupational Ergonomics Symposium*, s. 100-105, Zadar, Yugoslavya.
- Erkan, N. (1997). *Ergonomi Verimlilik, Sağlık ve Güvenlik İçin İnsan Faktörü Mühendisliği*, Ankara: Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları.
- Gönenc, İ. G. (2016). *Yol Şantiyelerinde ve Çevresinde İş Sağlığı ve Güvenliği Risklerinin Değerlendirmesi*, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü.
- Hignett, S. & McAtamney, L. (2000) Rapid entire body assessment (REBA). *Applied Ergonomics*, 31(2), 2015-205.
- Kocabaş, M. (2009). *Ağır ve Tehlikeli İşlerde Çalışan İş Görenlerde Zorlanmaya Neden Olan Çalışma Duruşlarının Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi.
- Koç, S., Testik, Ö. M., (2016). Mobilya Sektöründe Yaşanan Kas-İskelet Sistemi Risklerinin Farklı Değerlendirme Metotları ile İncelenmesi ve Minimizasyonu, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 2-27.
- Kuruoğlu, M. Albayrak Kuruoğlu, Y. Sarı, A., Haznedaroğlu, F. (2015). Ergonomi ve Antropometri Alanındaki Çalışmaların İnşaat Sektöründeki Yeri ve İş Güvenliği Açısından Önemi, 5. *İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu*, İzmir, Türkiye.
- Limerick, R.B. (2016). Further Risk Assessment Methods for Hazardous Manual Tasks. <http://ergonomics.uq.edu.au/download/mantra2.pdf> adresinden alındı, Erişim Tarihi: 18.12.2016.
- Müngen, U. (2011). İnşaat Sektörümüzdeki Başlıca İş Kazası Tipleri. *Türkiye Mühendis Haberleri*, 2011(5), 469.
- Özcan, E., Kesiktaş, N., (2007). Meslek Kas İskelet Hastalıklarından Korunma ve Ergonomi. *İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, Sayı:34-2007/7, Ankara, Türkiye.
- Stanton, N., Hedge, A., Brookhuis, K., Salas, E., Hendrick, H. (2005). *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods*, Florida: CRC Press.
- Yürek, K. (2018). *Yol İnşaatı Şantiyelerinde Ergonomik Risk Değerlendirmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi.



# **Biyosentez yöntemi ile üretilen GO: Se nanopartiküllerinin üretimi ve karakterizasyonu ve GO: Se nanopartikülleri kullanılarak geliştirilen Ag / GO: Se / p-Si cihazının akım-gerilim özellikleri**

Tuba Çakıcı<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Atatürk Üniversitesi, İspir Hamza Polat Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3130-996X)

(İlk Geliş Tarihi 1 Kasım 2019 ve Kabul Tarihi 31 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.665070)

**ATIF/REFERENCE:** Çakıcı, T. (2019). Biyosentez yöntemi ile üretilen GO: Se nanopartiküllerinin üretimi ve karakterizasyonu ve GO: Se nanopartikülleri kullanılarak geliştirilen Ag / GO: Se / p-Si cihazının akım-gerilim özellikleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1367-1374.

## **Öz**

Son zamanlarda, nanopartiküllerin üretiminde kullanılan bilinen yöntemlerin yanı sıra yeşil sentez yönteminin kullanılması araştırmacılar tarafından büyük ilgi görmüştür. Bu çalışmada ilk kez literatürde, karanlık koşullar altında Luria-Bertani OG1 besiyerinde özel bir bakteri kullanarak yeni bir yeşil sentez yöntemi yaklaşımıyla selen katkılı grafen oksit nanopartiküllerinin (GO: Se-NPs) üretilmesi sağlandı. Bu işlemten sonra biyosentezlenmiş GO: Se-NPs solüsyonu elde edildi. Bu çözelti p-Si altlık üzerine damlatıldı ve tavlama ile GO: Se ince filmi oluşturuldu. İnce film numunelerinin karakterizasyonu, ultraviyole görünür spektrofotometre (UV-VIS), X-ışını difraksiyonu (XRD), alan emisyon taramalı elektron mikroskobu (FE-SEM) ile beraber olan enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDS) teknikleri kullanılarak yapıldı. UV-VIS ölçümleri, GO: Se ince filminin bant aralık enerjisinin (1.70 eV) olduğu ortaya konmuş ve bu değer ilk kez bu çalışma ile literatüre girmiştir. XRD ölçümlerinde GO: Se / p-Si yapısının çok kristalli bir yapıya sahip olduğu görülmüştür. Diğer taraftan, FE-SEM görüntüsü ise nanometre ölçeğine sahip tabakalı ve kristal yapıların oldukça düzenli ve homojen bir şekilde dağıldıklarını göstermektedir. Öte yandan, akım- gerilimi (I-V) ölçümleri, Ag doğrultucu ve Al omik kontaklı GO: Se / p-Si hetero-yapısının bir diyot davranışı gösterdiğini kanıtlamıştır.

**Anahtar Kelimeler:** GO:Se, Mikrobiyal Yeşil Sentez, Nanopartiküller, İnce film.

## **Production and characterization of GO:Se nanoparticles produced by biosynthesis method and current-voltage characteristics of the Ag/GO: Se/p-Si device developed by using GO:Se nanoparticles**

### **Abstract**

Recently, nanoparticle production through the use of green synthesis method as well as the known methods used in the production of nanoparticles has attracted a great deal of interest by researchers. In this recent research, it was first, achieved to produce graphene oxide: selenium nanoparticles (GO: Se-NPs) employing a new approach of green synthesis method using special bacteria OG1 in Luria-Bertani medium under dark conditions in literature. Applying this method, biosynthesized GO: Se-NPs solution was obtained. GO: Se thin film was formed dropping this solution on the p-Si substrate, and then it was annealed. Optical, structural, morphological, chemical composition properties of GO: Se nanostructural thin film was determined by commonly preferred as UV-VIS, XRD, and FE-SEM with EDS techniques. UV-VIS measurements showed that the band gap energy,  $E_g$ , of the GO: Se thin film is 1.70 eV and this value is firstly determined with this study in literature. XRD measurements revealed that GO: Se/p-Si structure has a particle nano size polycrystal structure. FE-SEM measurements have indicated that GO: Se thin film has a typically nano sheeted structure and distribution of the grains which are very homogeneous and uniform. Furthermore, Current-Voltage (I-V) measurements proved that GO: Se/p-Si heterostructure with rectifying contact of Ag and ohmic contact of Al exhibits a diode characteristic behavior

**Keywords:** GO: Se, Microbial Green Biosynthesis, Nanoparticles, Thin film.

\* Sorumlu Yazar: Tuba Çakıcı, Atatürk Üniversitesi, İspir Hamza Poalt MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü, Erzurum, Türkiye, ORCID: 0000-0003-3130-996X, [tuba.cakici@atauni.edu.tr](mailto:tuba.cakici@atauni.edu.tr)

## 1. Giriş

For a few decades, nanotechnology, resulting from its nanosized nature, has attracted a great intense attention among the scientists since it promises innovations in many areas, such as, photovoltaic cells, light-emitting diodes (LEDs), optoelectronics, photocatalysis, single-electron transistors, and especially the production of different types of industrial materials [Oremland et al., 2004]. Scientists have studied densely for the production of nanoparticles and also tried to develop the new technologies for their productions. They have begun to use different methods for the fabrication of nanoparticles based on biological, physical, and chemical techniques. But, some of these techniques have advantages or disadvantages in producing nanoparticles. In the use of chemical technique among them has some disadvantages resulting from most of the chemicals which are not used being toxic and leading for the formation of the non-environmentally friendly by-products. On the other hand, biologic methods have many advantages compared to other techniques. These methods are easy and low-cost systems and they are also eco-friendly. Therefore, these methods known as "green nanotechnologies" are mostly required for the fabrication of the elemental metallic nanoparticles [Ozidal et al., 2016]. Today, it is known that many metals or metal-containing nanoparticles can be produced by biological organisms, such as various plants, algae, fungi, and bacteria. Among these organisms, like *Pseudomonas*, *Escherichia*, *Vibrio*, *Pseudomonas*, *Bacillus* bacteria have been studied intensely by scientists for synthesizing these nanoparticles.

For the last days, researchers have begun to study the graphene as a favor material due to its potential technological applications owing to its excellent optical, electrical, structural and mechanical properties [Bakir et al., 2017]. Many researchers have studied on the graphene oxide (GO) named from the oxide form of the graphene and they have investigated this material in detail since it has a tunable band gap, governable conductivity close to insulators, and high transmittance [Mekki et al., 2016; Kang et al., 2013]. Due to the properties of GO mentioned above, it has been seen that this material can be used as an interfacial thin film layer in the metal-semiconductor heterojunction structures. Kocyigit et al. have obtained GO: SiO<sub>2</sub> nanoparticles by a chemical method and then using spin coating technique, they formed GO: SiO<sub>2</sub> interfacial thin-film layer between the p-Si semiconductor substrate and Al metal contact and obtained Al/GO-SiO<sub>2</sub>/p-Si diode device structure [Kocyigit et al., 2018]. After completing the construction of the device, they have investigated its photovoltaic and photodiode properties. In another study carried by Kaya et al. [Kaya et al., 2016], they have constructed GO-doped PrBaCoO nanoceramic/n-Si capacitor device structure. They investigated the capacitive properties of the device using the data obtained from the impedance spectrometer measurements in a frequency range of 1 kHz -1 MHz at room temperature. Mekki et al. have done a similar study and obtained GO by the chemical method [Mekki et al., 2016]. But they, unlike Kaya et al., doped coumarin with different ratios into GO to change its photosensitivity and constructed a photosensor device to be used for optic communications placing this composite between the interface of p-Si crystal and Au metal contact. On the other hand, Jilani et al. have used GO for different goal doping coumarin with different ratios into GO to change the photosensitivity of coumarin doped GO/p-Si diode that they constructed as a photosensor device to be used for optic communications [Jilani et al., 2013].

Schottky-type metal-insulator-semiconductor photovoltaic cell has been fabricated by Liu et al. and they employed GO as an insulator interlayer between the semiconductor and metal contact and also, they have proved that the developed photovoltaic cell by them has a rather high-power conversion efficiency [Liu et al., 2013]. Furthermore, there are several of the researchers investigating the production of GO and its effect on improving the electrical conductivity of the material when it is doped into it. Chen et al., in their study, have synthesized GO by altered Hummers method and then they obtained GO: coumarin nanoparticles mixing two solutions including GO and coumarin [Chen et al., 2010]. Then, they have constructed coumarin doped GO/p-Si structure with different percentages of coumarin and investigated its I-V characteristics. Z.J. Li et al. have studied GO and they fabricated supercapacitor using GO nanoparticles [Li et al., 2012]. But, among these studies, it was not found binary GO: Se nanoparticles obtained by the biological method. Instead, many studies have been conducted on the acquisition of single metal nanoparticles through green synthesizing. Ponarulselvam et al. have achieved silver nanoparticles using the leaves of the extracts and revealed that it is active against the parasite malaria [Ponarulselvam et al., 2012]. Anuradha Prakash et al. have obtained nanoparticles (NPs) such as cadmium, silver, and lead synthesizing them on the surface wall of the bacteria called *Bacillus megaterium* and characterize them in detail [Prakash et al., 2018]. Mostafa M. Abo Elsouda et al., in this current work, have achieved to produce metallic tellurium nanoparticles (TeNPs) reducing potassium tellurite utilizing fungal *Aspergillus welwitschias* and proved their antimicrobial activities [Mostafa et al., 2018]. The previous research concentrated on metals or elemental nanoparticles synthesized by microorganisms. There appear no research binary nanoparticles synthesized by microorganisms or other green synthesis methods.

In this report, for the first time, GO: Se nanoparticles were obtained by a special bacterium and GO: Se nanoparticles were sintered on glass and p-Si substrates to obtain GO: Se thin films. GO: Se thin films were characterized by UV-VIS, XRD, FE-SEM, and EDX techniques. Ag metal evaporated on directly GO: Se/p-Si structure as a rectifier contact and Ag/GO: Se/p-Si diode structure was constructed. Current-Voltage measurements were carried out at room temperature to assign the numerical values of some electrical parameters of the fabricated device, such as ideality factor, n, barrier height,  $\phi_b$ , and saturation current,  $I_0$ .

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Preparation of GO: Se Nanoparticles

To achieve the synthesis of GO / Se nanoparticles in a solution by a selected special bacteria, the the way has been followed step by step as following;

To do this, it was used a specially selected bacteria *P. aeruginosa* strain OG1 [Ozidal et al., 2016a; Ozidal et al., 2017a]. Many bacteria can grow under extreme conditions such as high salt, pesticide, metal concentrations [Raddadi et al., 2015; Ozidal et al., 2017b; Ozidal et al., 2016b]. One of these bacteria is *P. aeruginosa* and it produces various types of enzymes, pigments, and biosurfactants, which enhance it to survive under very difficult conditions. *P. aeruginosa* can produce graphene [Gurunathan et al., 2013], Au [Husseiny et al., 2007], Ag [Kumar and Mamidyal, 2011] by direct electron transfer.

*P. aeruginosa* bacteria, first, as mentioned in our previous study, was cultured [Çakıcı, 2019; Çakıcı et al. 2019]. The cell suspension (100 µl, OD600 1) was taken from inoculums and inoculated into the Luria Bertani Broth mediums (20 mL) and added 0.5 mM graphene oxide and 0.5 mM  $\text{SeO}_3^{2-}$  into this medium. Hence, the biosynthesizing process of the nanoparticles was started at room temperature and dark conditions during 96 hours on rotating shaker (150 rpm). On the other hand, the same experimental processes were repeated for only 0.5 mM  $\text{SeO}_3^{2-}$  and 0.5 mM graphene oxide after adding them to another culture solution. After this application, it was seen that the color of the reaction mixtures was changed during the biosynthesizing process from yellow to a reddish-brown color demonstrating the production of GO: Se nanoparticles. Fig. 1 a, b, c show change in the color of selenium, GO, and GO: Se nanoparticles from light yellow to reddish pink, from dark yellow to black, and from green-yellow to reddish-brown in 96 h, respectively.

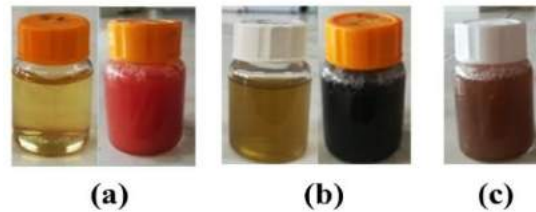


Figure 1: Change in the color of Se, GO, and GO: Se nanoparticles (a) from light yellow to reddish pink, (b) from dark yellow to black, and (c) from green-yellow to reddish-brown in 96 h, respectively.

Then nanoparticles were cleaned and removed from the bacteria cellular impurities. [Oremland et al., 2004; Yoshida et al., 2016; Wadhvani et al., 2017]. This process is described in detail in our previous studies [Çakıcı, 2019; Çakıcı et al. 2019]. After this, cleaned Se (0), GO and GO: Se nanoparticles were suspended again in deionized water. The final solution was filtered and the material obtained after filtering was rinsed with deionized water again. After this process, only GO: Se nanoparticles remained in solution. A 50cc solution of GO: Se nanoparticles were directly dropped on the surface of the p-Si and glass substrates formed on as mentioned above, and then they were dried on a heater plate at 65°C for 75 min. Hence, GO: Se thin films were synthesized both glass and p-Si substrates. The thin films formed on the glass substrates were separated for their characterization and the GO: Se thin films were separated for the fabrication of Ag/GO: Se/p-Si/Al device.

### 2.2. Characterization of GO:Se Thin film

After the production of the GO:Se thin films, characterization of the thin films was performed. The optical characterization of the GO:Se thin film was examined by using UV-VIS Perkin-Elmer Lambda 2S UV-Visible spectrometer method from the glass substrate. Crystal structure properties and surface morphology were investigated from the p-Si substrate by using X-rays diffractometer XRD Bruker D2,  $K\alpha$ ,  $\lambda=1.54$  Å and field emission scanning electron microscopy FE-SEM Sigma 300 Model Zeiss Gemini, respectively. Qualitative analysis of GO:Se thin films were determined by using electron diffusion X-ray, EDS equip with FE-SEM method.

### 2.3. The Fabrication Process of Ag /GO: Se / p-Si / Al Diode

In order to fabricate to Ag /GO: Se / p-Si / Al diode structure, p-type Si crystals were degreased with acetone and methanol in an ultrasonic cleaner for 10 min consecutively and they were etched in a sequence of  $\text{H}_2\text{O}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{HNO}_3$  (6:1:1) at 60°C, 20% HF and a solution of  $\text{H}_2\text{O}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{HCl}$  (6:1:1) at 60°C, 20% HF. Finally, the substrates were rinsed thoroughly in de-ionized water with a resistivity of 18 MΩ cm. After the chemically cleaning process, an electrode (Ohmic contact) was formed thermally evaporating Al onto the backside of the p-Si substrate in a vacuum system with a pressure of  $1 \times 10^{-5}$  Torr. Then, to improve the conductivity of the electrode, p-Si/Al, each of these substrates was annealed in an oven at 550 ° C for 3 minutes in a nitrogen atmosphere. Other Ag metal electrode applying with shadow mask was evaporated on directly GO: Se thin film surface as rectifying contacts. Rectifying Ag metal contacts were formed cylindrical geometry of 1.00 mm diameter in vacuum pump ( $1.5 \times 10^{-5}$  Torr). After this process, fabrication of the Ag/GO: Se/p-Si/Al diode structure was completed.

I-V characteristics of the Ag/GO: Se/p-Si/Al diode structure was performed in our laboratory and electrical properties of the diode structure were determined to conduct the measurements at room temperature (300°C) by using Keithley 2400 Source Meter System (current-voltage measurement system).



### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Optical properties

The optical absorption spectrum from UV-VIS measurements of GO: Se thin film sample depending on the wavelength of the photon varying from 300-1000 nm is given in Fig. 2.

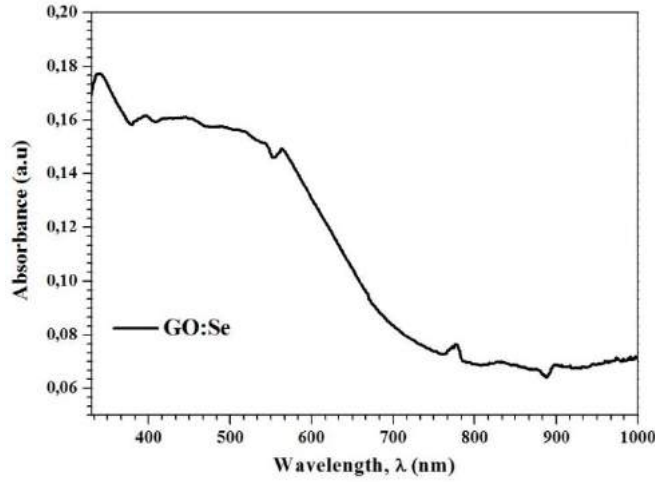


Figure 2: The optical absorbance of GO:Se thin film is deposited on a glass substrate versus the wavelength of incident photons.

The optical band gap energy ( $E_g$ ) value of the thin film sample is calculated substituting the values of absorption coefficients,  $\alpha$ , corresponding to each wavelength into Equ. 1 given as following:

$$\alpha h\nu = A (h\nu - E_g)^n \quad (1)$$

where  $A$ ,  $h$ ,  $E_g$ ,  $h\nu$ , and  $n$  are  $\alpha$  absorption coefficient values constant related to the effective masses of charge carriers, the Planck constant, the band gap energy, the energy of the photon, and the exponent that depends on the nature of the optical transition. By using Equ.2 and for the direct transition ( $n = \frac{1}{2}$ ) [Çakıcı et al., 2015], the graphic of the  $(\alpha h\nu)^2$  versus  $h\nu$  was plotted (Fig.3). As seen from Fig.3, after applying the extrapolation, the intercept on the  $h\nu$ -axis gives the value of the direct band gap of GO: Se thin film sample as approximately 1.70 eV which is found firstly by this study for this material.

$$(\alpha h\nu)^2 = A (h\nu - E_g) \quad (2)$$

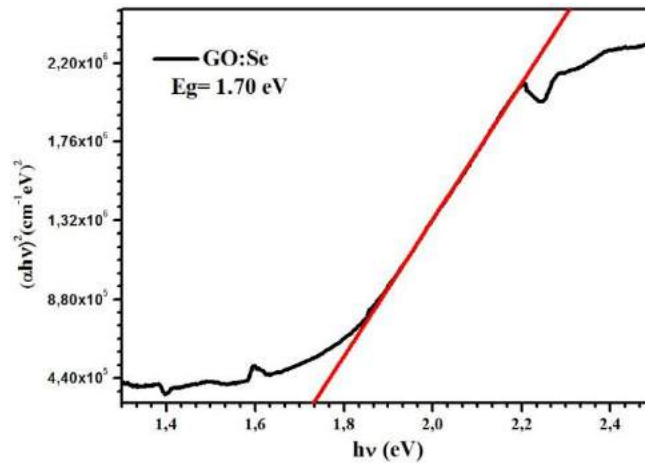


Figure 3:  $(\alpha h\nu)^2$  plot versus photon energy ( $h\nu$ ) and the band gap energy ( $E_g$ ) determined by extrapolation for GO:Se thin film sample.

#### 3.2. Structural properties

XRD peaks of the GO: Se/p-Si structure (red line) are shown in Fig. 4. The  $(h,k,l)$  diffraction planes of GO: Se thin film is displayed in Fig. 4. Herein, the strongest peak appearing at  $2\theta \sim 70^\circ$  and directed as (100) corresponds p-Si (100) with cubic crystallization. On the other hand, two peaks of the GO: Se structure, one of them is weak and the other is strong, emerge. These two weak and strong peaks appearing at about  $23.11^\circ$  and  $9.14^\circ$  belong to (002) directional plane of GO layers with different interlayer distances

which are 0.38 and 0.97 nm, respectively. This difference between these structures can be referred to as some structural defects and the existence of the oxygen-containing [Robinson et al., 2008; Wang et al., 2008].

As shown in Fig. 4, GO: Se thin film have two strong peaks, therefore it exhibits a polycrystalline thin film nature. Crystallite sizes of polycrystalline GO: Se thin film according to the different 2θ angles were calculated by using Debye-Scherrer's formula,

$$D = \frac{0,9\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (3)$$

Herein, D is crystallite size, β is the full width at half maximum (FWHM) and λ is the wavelength of the X-ray (λ=1.5405 Å). XRD parameters of the GO: Se thin film is given in Table 1.

Tablo 1. XRD structural parameters of GO:Se thin film

(hkl)	FWHM	FWHM (rad)	Intensity (a.u.)	2θ° (Observed)	d-values (nm)	Crystal size (D) nm
(002)	3.58	0.062	4745.10	9.36	0,94	2,23
(002)	0.165	0.003	559.12	23.11	0,38	49,15

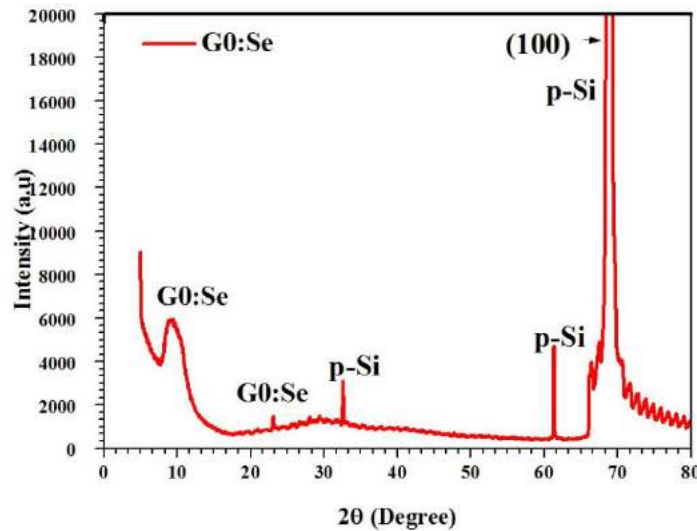


Figure 4: XRD peaks of the GO:Se /p-Si structure.

For the investigation of the structural properties such as morphology and composition of the GO:Se /p-Si structure, it was used the data procured from the FE-SEM and EDX analysis techniques.

Fig. 5 displays FE-SEM images of GO: Se thin film is deposited on the p-Si substrate and herein, it is seen that the formation of graphene oxide layers [Karteri and Güneş, 2016]. Also, sectional nanoscale GO: Se thin film FE-SEM image in the range of 200 nm displays the typical sheeted structure of the graphene oxide layer.

The EDX spectrum showing the component elements in the GO: Se/p-Si structure is given Fig. 6 and component elements percentages are given in the list, taking place in the composition of GO: Se/p-Si structure. According to this list, it is consisted of expected elements for GO: Se/p-Si structure, O, Se, C, and Si.

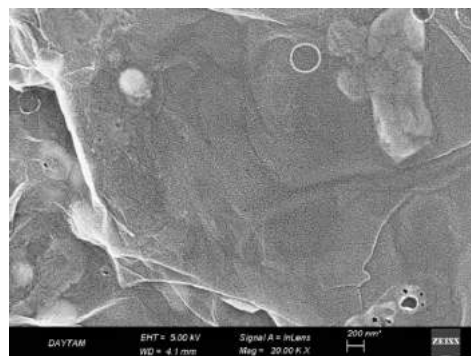


Figure 5: FE-SEM images of GO:Se /p-Si heterostructure with magnification scale (200nm).

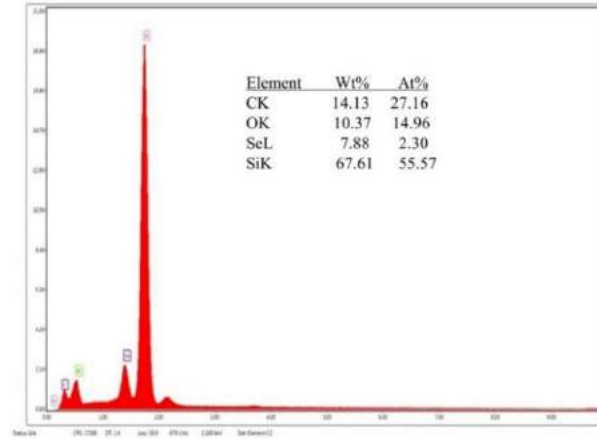


Figure.6: EDX spectrum image of the GO:Se/p-Si structure and the list of the elements detected.

### 3.3. I-V Characteristics

The current-voltage characteristic plot of Ag/GO: Se/p-Si/Al diode structure is shown in Fig.7. According to the Thermionic Emission theory ( $V \geq 3kT/q$ ) are calculated to find numerical values of some parameters of the diode structure, such as ideality factor,  $n$ , barrier height,  $\phi_b$ , and saturation current  $I_0$ . For the calculation numerical values of these parameters, the mathematical expression (Equation 4) of thermionic emission theory has been used given as following:

$$I = \underbrace{AA^*T^2 \exp\left(\frac{q\phi_B}{kT}\right)}_{I_0} \left[ \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (4)$$

Herein,  $I_0$  is the reverse-saturation current determined from the intercept of the straight line drawn from the linear region of the forward-bias  $\ln(I)-V$  graph at  $V=0$ .  $I_0$  is given the following expression:

$$I_0 = AA^*T^2 \exp\left(\frac{q\phi_b}{kT}\right) \quad (5)$$

Herein,  $A$ ,  $A^*$ , and  $T$  are the diode area ( $=7.85 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$ ), Richardson constant ( $A^*=32 \text{ Acm}^{-2} \text{ K}^{-2}$  for p-type Si) and the temperature of the media respectively.

Substituting the numerical values of these parameters into Eq. 5, saturation current value was obtained as  $1.13 \times 10^{-10} \text{ A}$  at room temperature. Moreover, ideality factor and barrier height values for  $V \geq 3kT/q$  are derived from the Eq. 5. They are given as follows:

$$n = \frac{q}{kT} \exp\left(-\frac{dV}{d \ln I}\right) \quad (6)$$

$$\phi_b = \frac{kT}{q} \ln\left(-\frac{AA^*T^2}{I_0}\right) \quad (7)$$

Hence,  $n$  and  $\phi_b$  values of the Ag/GO: Se/p-Si/Al diode structure was calculated as 2.16 and 0.86 eV, respectively. A rather higher ideality factor value can be attributed to non-uniform distribution of the carriers in the interface layer and barrier inhomogeneity [Çakıcı et al., 2015].

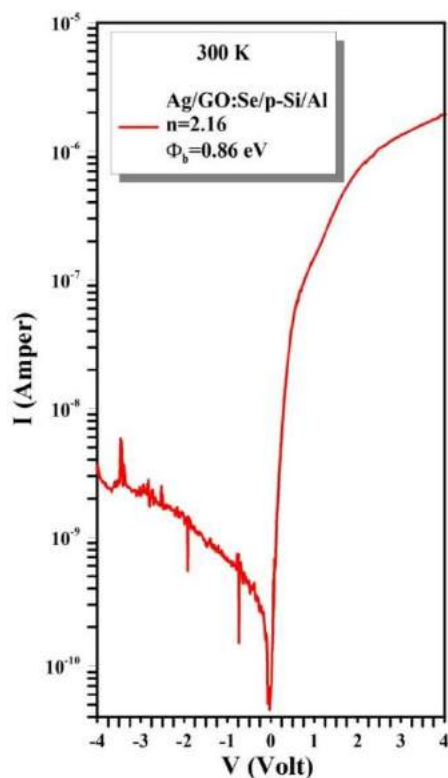


Figure.7. Current-Voltage (I-V) characteristics plot of Ag/GO:Se/p-Si/Al.

## 4. Conclusion

In this report, GO: Se nanoparticles were synthesized via the bacterial green synthesis method and used them as an interfacial thin film in the production of Ag/GO: Se/p-Si/Al diode structure, for the first time. GO: Se thin films were deposited glass and p-Si substrates. Optical and electronic, crystal structure, morphology, the composition of these thin films were characterized by absorption (UV-Vis.), XRD, FE-SEM with EDS methods. XRD peaks displayed to nano polycrystalline structure of GO: Se thin film with typical GO peaks position. FE-SEM image revealed that the GO: Se thin film has a nanosheets structure and EDS measurement depicted that the structures have a composition with the expected elements. All of these obtained results from measurements showed that GO: Se thin film was obtained successfully. Fabricated Ag/GO: Se/p-Si/Al diode structure some electrical parameters were tested by the current-voltage method at room temperature and dark conditions. Saturation current, ideality factor and barrier height of diode structure were determined as related to the thermionic emission theory of,  $1.13 \times 10^{-10}$  A, 2.16 and 0.86 eV, respectively. Consequently, all findings show that this device structure has relatively well and consistent diode characteristics. On the other hand, some further studies are planned to prove whether this structure can be used in photovoltaic cells or not.

## References

- Bakir M, Meyer JL, Hussainova I, Sutrisno A, Economy J, Jasiuk I, 2017. Periodic Functionalization of Graphene-Layered Alumina Nanofibers with Aromatic Thermosetting Copolyester via Epitaxial Step-Growth Polymerization. *Macromolecular Chemistry and Physics*, 218(24); 1700338.
- Chen S, Zhu J, Wu X, Han Q, Wang X, 2010. Graphene oxide– MnO<sub>2</sub> nanocomposites for supercapacitors. *ACS Nano*, 4(5); 2822-2830.
- Çakıcı T, Güzeldir B, Sağlam M, 2015. Temperature-dependent of electrical characteristics of Au/n-GaAs/In Schottky diode with In<sub>2</sub>S<sub>3</sub> interfacial layer obtained by using spray pyrolysis method. *Journal of Alloys and Compounds*, 646; 954-965.
- Çakıcı T, Sağlam M, Güzeldir B, 2015. The comparison of electrical characteristics of Au/n-InP/In and Au/In<sub>2</sub>S<sub>3</sub>/n-InP/In junctions at room temperature. *Materials Science and Engineering: B*, 193; 61-69.
- Elsoud MMA, Al-Hagar OE, Abdelkhalek ES, Sidney NM, 2018. Synthesis and investigations on tellurium my nanoparticles. *Biotechnology Reports*, 18; e00247.
- Gurunathan S, Han JW, Eppakayala V, Kim JH, 2013. Biocompatibility of microbially reduced graphene oxide in primary mouse embryonic fibroblast cells. *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*, 105; 58-66.
- Husseiny MI, El-Aziz MA, Badr Y, Mahmoud MA, 2007. Biosynthesis of gold nanoparticles using *Pseudomonas aeruginosa*. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 67(3-4); 1003-1006.
- Jilani SM, Gamot TD, Banerji P, Chakraborty S, 2013. Studies on resistive switching characteristics of aluminum/graphene oxide/semiconductor nonvolatile memory cells. *Carbon*, 64; 187-196.
- Kang SH, Fang TH, Hong ZH, 2013. Electrical and mechanical properties of graphene oxide on flexible substrate. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 74(12); 1783-1793.

- Karteri İ, Güneş M, 2016. Synthesis of reduced graphene oxide-phosphorus nanocomposites with a new approach for dye sensitized solar cells applications. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 27(11); 11502-11508.
- Kaya A, Aliyaly S, Demirezen S, Balbaşı M, Yerişkin SA, Aytimur A, 2016. The investigation of dielectric properties and ac conductivity of Au/GO-doped PrBaCoO nanoceramic/n-Si capacitors using impedance spectroscopy method. *Ceramics International*, 42(2); 3322-3329.
- Kocyyigit A, Karteri İ, Orak I, Uruş S, Çaylar M, 2018. The structural and electrical characterization of Al/GO-SiO<sub>2</sub>/p-Si photodiode. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 103; 452-458.
- Kumar CG, Mamidyala SK, 2011. Extracellular synthesis of silver nanoparticles using culture supernatant of *Pseudomonas aeruginosa*. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 84(2); 462-466.
- Li ZJ, Yang BC, Zhang SR, Zhao CM, 2012. Graphene oxide with improved electrical conductivity for supercapacitor electrodes. *Applied Surface Science*, 258(8); 3726-3731.
- Liu CP, Hui YY, Chen ZH, Ren JG, Zhou Y, Tang L, Tang YB, Zapfen JA, Lau, S. P. 2013. Solution-processable graphene oxide as an insulator layer for metal-insulator-semiconductor silicon solar cells. *RSC advances*, 3(39); 17918-17923.
- Mekki A, Dere A, Mensah-Darkwa K, Al-Ghamdi A, Gupta RK, Harrabi K, Farooq WA, Tantawy F.El, Yakuphanoglu F, 2016. Graphene controlled organic photodetectors. *Synthetic Metals*, 217, 43-56.
- Mekki A, Ocaya RO, Dere A, Al-Ghamdi AA, Harrabi K, Yakuphanoglu F, 2016. New photodiodes based graphene-organic semiconductor hybrid materials. *Synthetic Metals*, 213; 47-56.
- Oremland RS, Herbel M J, Blum J S, Langley S, Beveridge T J, Ajayan PM, Sutto T, Ellis AV, Curran S, 2004. Structural and spectral features of selenium nanospheres produced by Se-respiring bacteria. *Applied Environment Microbiology*, 70(1); 52-60.
- Ozdal M, Gurkok S, Ozdal OG, 2017. Optimization of rhamnolipid production by *Pseudomonas aeruginosa* OG1 using waste frying oil and chicken feather peptone. *3 Biotech*, 7(2); 117.
- Ozdal M, Ozdal OG, Algur O F, 2016. Isolation and characterization of  $\alpha$ -endosulfan degrading bacteria from the microflora of cockroaches. *Polish journal of microbiology*, 65(1); 63-68.
- Özdal ÖG, Özdal M, Algur Ö F, Sezen A, 2016. Isolation and identification of  $\alpha$ -Endosulfan degrading bacteria from insect microflora. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 4(4); 248-254.
- Ponarulseivam S, Panneerselvam C, Murugan K, Aarthi N, Kalimuthu K, Thangamani S, 2012. Synthesis of silver nanoparticles using leaves of *Catharanthus roseus* Linn. G. Don and their antiplasmodial activities. *Asian Pacific journal of tropical biomedicine*, 2(7); 574-580.
- Prakash A, Sharma S, Ahmad N, Ghosh A, Sinha P, 2010. Bacteria mediated extracellular synthesis of metallic nanoparticles. *Int Res J Biotechnol*, 1(5); 071-079.
- Raddadi N, Cherif A, Daffonchio D, Neifar M, Fava F, 2015. Biotechnological applications of extremophiles, extremozymes and extremolytes. *Applied microbiology and biotechnology*, 99(19); 7907-7913.
- Raddadi N, Cherif A, Daffonchio D, Neifar M, Fava F, 2015. Biotechnological applications of extremophiles, extremozymes and extremolytes. *Applied microbiology and biotechnology*, 99(19); 7907-7913.
- Robinson JT, Zalalutdinov M, Baldwin JW, Snow ES, Wei Z, Sheehan P, Houston BH, 2008. Wafer-scale reduced graphene oxide films for nanomechanical devices. *Nano letters*, 8(10); 3441-3445.
- Wadhvani SA, Gorain M, Banerjee P, Shedbalkar UU, Singh R, Kundu GC, Chopade BA, 2017. Green synthesis of selenium nanoparticles using *Acinetobacter* sp. SW30: Optimization, characterization and its anticancer activity in breast cancer cells. *International journal of nanomedicine*, 12; 6841.
- Wang X, Zhi L, Müllen K, 2008. Transparent, conductive graphene electrodes for dye-sensitized solar cells. *Nano letters*, 8(1); 323-327.
- Yoshida N, Miyata Y, Doi K, Goto Y, Nagao Y, Tero R, Hiraishi A, 2016. Graphene oxide-dependent growth and self-aggregation into a hydrogel complex of exoelectrogenic bacteria. *Scientific reports*, 6; 21867.





# **Tehlikeli Atık Bertaraf Tesislerinde Karşılaştırmalı Risk Analizi ve Biyolojik Faktörler Açısından Risk Değerlendirmesi**

Hatice Ölçücü Şensoy<sup>1</sup>, İrem Ersöz Kaya<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Tarsus Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, Tarsus, Mersin, Türkiye

<sup>2</sup> Tarsus Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Tarsus, Mersin, Türkiye

(İlk Geliş Tarihi 2 Aralık 2019 ve Kabul Tarihi 31 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.668653)

**ATIF/REFERENCE:** Ölçücü Şensoy, H. & Ersöz Kaya, İ. (2019). Tehlikeli Atık Bertaraf Tesislerinde Karşılaştırmalı Risk Analizi ve Biyolojik Faktörler Açısından Risk Değerlendirmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1375-1382.

## **Öz**

Sanayinin gelişmesi ve yaygınlaşması ile birlikte dünyadaki atık miktarı artmakta ve buna paralel olarak, atıkların oluşturduğu riskler ve zararlar da çoğalmaktadır. Tehlikeli atıkların verdiği zararın azaltılması için geri kazanım veya bertaraf yoluna gidilmesi gerekmektedir. Bu sebepten bertaraf tesislerinin sayısında bir artış yaşanmaktadır. Bu tip tesislerde çalışanlar, tehlikeli atıklarla uğraştıkları için birçok riske maruz kalmaktadırlar. Çalışmada, bir tehlikeli atık bertaraf tesisinde çalışanların atıkları aldıkları mesafelerden bertaraf süresine kadarki olan, maruziyet süreleri, vücutla teması, oluşan havanın solunması gibi etkiler incelenmiş ve biyolojik risk faktörleri araştırılmıştır. Bu faktörlerden meslek hastalığına sebep olan veya olabilmesi ihtimali bulunanlar değerlendirilmiştir. Biyolojik risk analizinde, 5x5 L Tipi Matris yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada ayrıca, fiziksel, kimyasal ve biyolojik risk faktörleri birlikte değerlendirilerek genel bir risk analizi yapılmış ve bunlara bağlı olarak hangi önleyici tedbirlerin alınması gerektiği belirlenmiştir. Genel risk analizi değerlendirilmesinde, 5x5 L Tipi Matris yönteminin yanısıra Fine Kinney yöntemi kullanılmıştır. Analizler sonucunda iki metotta da 47 adet risk tespit edilmiştir. Fine Kinney risk analizine göre risklerin etki türüne göre dağılımı incelendiğinde en çok riskin 17 risk ile sağlık ve türevlerinden meydana geldiği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Tehlikeli Atık, Meslek Hastalıkları, Biyolojik Risk, Risk Analizi, 5x5 L Tipi Matris, Fine Kinney.

## **Comparative Risk Analysis and Risk Assessment of Biological Factors in Hazardous Waste Disposal Facilities**

### **Abstract**

The development and spread of the industry causes the amount of waste throughout the world to increase, accordingly leading to the increase of risks and damages caused by wastes. In order to reduce the damage caused by hazardous waste, it is necessary to implement recycling or disposal. Therefore, there is an increase in the number of disposal facilities. Employees working in such facilities are exposed to many risks as they deal with hazardous waste. In the study, the effects, such as exposure times, physical contact, inhalation of the air formed, on the employees working in a hazardous waste disposal facility, as exposed by whom starting from the waste collection until disposal process, were examined and biological risk factors were researched. Among such factors, those causing or likely to cause occupational disease were evaluated. The 5x5 L Type Matrix method was used in biological risk analysis. In addition, physical, chemical and biological risk factors were evaluated together and a general risk analysis was conducted and it was determined which preventive measures should be taken accordingly. In the assessment of general risk analysis, 5x5 L Type Matrix method as well as Fine Kinney methods were used. As a result of the analyses, 47 risks were found in both methods. Once the risks are distributed

\* Sorumlu Yazar: Tarsus Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye, iremer@tarsus.edu.tr

according to the type of impact as a result of the examination on the basis of Fine Kinney risk analysis, it is found that the type with the highest risk is health and its derivatives, which include 17 risks.

**Keywords:** Hazardous Waste, Occupational Diseases, Biological Risk, Risk Analysis, 5x5 L Type Matrix, Fine Kinney.

## 1. Giriş

Dünya üzerinde sürekli artan nüfus ve hızlı tüketim, teknoloji ile birlikte sanayileşmenin gelişmesini mecbur kılmıştır. Artan sanayileşme ülkelerin vatandaşlarını olumlu ve olumsuz yönde etkilemiştir. Fabrikalaşmanın artması, oluşan birçok atıkları ve iş kazalarını da birlikte getirmiştir. Sanayinin getirdiği iş kazaları, meslek hastalıkları ve atık miktarları iş sağlığı ve güvenliğinin önemini arttırmıştır. Sanayileşmenin gelişmesi ve küreselliğin artması beraberinde tehlikeleri doğurmaktadır, bu tehlikeler atık tehdidi olarak gelişmiş ülkelere doğru yönelmektedir. Tehlikelerin başlıcaları atıkların depolanmasının, geri dönüşümünün, geri kazanımının ve bertarafının yeterli olmamasıdır. Bilinçli ayrıştırma ve bilinçli tüketiminin yeterli yapılamaması atık miktarlarının günden güne arttırmıştır. Atık miktarlarının artmasıyla gelişen ülkelerde atık konusu büyük bir pazar haline gelmiştir. Büyük bir pazar haline gelen atık sektörü için de her ülkede geri dönüşüme önem günden güne artmıştır (Demirel ve Sert, 2018). Atıkların bertarafında ISO 9001 (Kalite) ve ISO 14001 (Çevre) standartları göz önünde bulundurulmuş, çevreye olumsuz etki değerleri bulunan, canlılara, toprağa, suya ve havaya zarar verebilecek tüm tehlike arz eden maddelerin taşınmasından bertarafına kadar tüm süreçlerin standartlara uygun biçimde gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Akgün, 2006).

Atık sektörü kendi içinde birçok kategori bulundurmaktadır. Kategorik olarak ambalaj atık, tehlikeli atık, tehlikesiz atık, tıbbi atık gibi atık çeşitleri mevcuttur. Bu atıklarda kendi aralarında ayrılmış ve yaptığı iş koluna göre oluşabilecek atıklar için uygun atık kodları belirlenmiştir. Su savaşları olduğu gibi çöp savaşlarının da ortaya çıkması muhtemeldir. Gerek geri kullanılabilir malzemeye dönüşmesi gerek ikincil hammadde olarak kullanılması gerekse enerji elde edilmesi için oluşan atıklar bilinçli bir şekilde ayrıştırılmalıdır.

Katı atıklar, sağlık ve uygunluk yönünden atığın çeşidine uygun bir şekilde bertaraf edilmezlerse su, toprak ve hava kirliliğine neden olmaktadır. Tehlikeli olan ve yeterli düzeyde ayrıştırılmayan atıkların, gerekli kişisel koruyucu donanım malzemeler kullanılmadan taşınması ya da zararlı maddelerin doğaya bırakılması ile bu işlerle uğraşan kişilerde solunan havadan, deriye temastan ve solunan kimyasallardan kaynaklı olarak akut ve kronik meslek hastalıkları oluşabilmektedir. Bu nedenlerden dolayı katı atıkların çevreye en az zarar verecek şekilde bertarafını sağlamak ve uygun bertaraf yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir. Nüfus artışıyla beraber, gelişen teknoloji ve kentselleşmeyle birlikte katı atıkların miktarları artmakta ve içerikleri giderek değişmektedir. Kaynakların ve doğanın zarar görmesi, ancak çevre kirliliğine neden olan etkenlerin azaltılması ile engellenebilmektedir. Geri kazanılabilir atıkların olduğundan daha fazla değerlendirilerek ekonomiye katkı sağlayan kaynak durumuna getirilmeleri gerekmektedir (Karagözoğlu, 2009).

Tehlikeli atık tesislerinde kimyasal ve fiziksel olarak oluşan maruziyet, biyolojik faktörlere göre daha fazladır. Atık tesislerinde çalışanlar için, fiziki olarak toza maruz kalma veya malzemenin düşmesi sonucu yaralanma; kimyasal risk olarak atığın elle taşınması esnasında dökülen kimyasal maddeden zarar görme; biyolojik olarak ise bakteriyel kaynaklı riskler gibi tehlikeler bulunmaktadır (Kayhan ve Demirel, 2016). Tehlikeli atık tesislerinde oluşan bu riskler meslek hastalıklarının ortaya çıkmasına da sebep olabilmektedir. Meslek hastalığı; iş koluyla alakalı risk taşıyan alanlarda, uzun zaman maruz kalınması sonucu oluşmaktadır. Meslek hastalığı çalışanların yaşam şekillerini ve sağlıklarını olumsuz yönde etkileyen bir unsurdur. Zamanla oluşan hastalıklar neticesinde hayatlar yok olmakta, kaybedilen uzuvlar ve ortaya çıkan manevi zorluklar sonucu yok olan insan gücü tekrar geri getirilememektedir. Meslek hastalığının artması ve yaşamların yok olması sonucu, iş yerlerinde iş sağlığının önemi ve gerekliliği artmıştır. İşçi sağlığı ve iş güvenliğinin temel amaçları arasında; çalışanların fiziksel ve psikolojik yönden sağlığının korunması için gerekli ergonomik ortamın sağlanması ve sürdürülmesi; çalışma koşullarından kaynaklanabilecek olumsuz sonuçların önlenmesi ve her türlü sağlık sorunundan korunması yer almaktadır. Bu nedenle, işçi sağlığı ve iş güvenliğinde, temelde risklerin ortaya çıkmadan önlenmesi amaçlanmaktadır. Bunun için öncelikle risk analizinin yapılarak risklerin ortaya çıkarılması ve alınması gereken önlemlerin belirlenmesi gerekir (Şengöz ve Merdan, 2017).

Yapılan bu çalışmada, tehlikeli atık tesislerindeki biyolojik risk faktörleri ile meslek hastalığının oluşmasına sebep olan fiziksel, kimyasal ve biyolojik etmenler incelenmiştir. Gözlemler-araştırmalar kapsamında atık tesislerinde neler meslek hastalığı olarak nitelendirilmektedir, çalışanlar hangi tür risk faktörlerine maruz kalmaktadır gibi soruların cevapları araştırılmıştır. Sorulara verilen cevaplar doğrultusunda meslek hastalıkları/iş kazalarının önlenmesi veya azaltılması yönünde alınacak tedbirler konusunda önerilerde bulunulmuştur. Tehlikeli atık tesislerinde fiziksel ve kimyasal risk faktörlerinin daha fazla olması, biyolojik açıdan oluşabilecek risk faktörlerinin incelenmesi konusunda yeterli çalışmanın olmaması bu konu hakkında çalışma eğilimini arttırmıştır.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, çevre kirliliği ve atık konusunun önemini vurgulayan bir çalışmada Akgün, enerji birimlerinin katı, sıvı ve gaz atık olarak toprağa, havaya, suya bırakılması sonucu sanayi atıkları sorununun ortaya çıktığını ve Endüstriyel atıkların meslek hastalıklarına neden olduğunu belirtmiştir (Akgün, 2006). Kayhan ve Demirel (2016) ise yaptıkları çalışmada polimer işleme sektöründe, polimeri plastik imalat sektörüne indirgeyerek, bu kollarındaki meslek hastalıklarından korunma yöntemlerini ve risk değerlendirmesinin nasıl yapılacağı araştırmışlardır. Risk teşkil eden fiziksel, kimyasal ve biyolojik faktörlerin tespit edilmesinde hangi tedbirlerin alınması gerektiğini incelemiştirlerdir. Meslek hastalıklarının önlenmesi veya azaltılmasında konusunda, çalışanlara ve işverene düşen yükümlülüklerin neler olabileceğini ele almışlardır. Bir diğer çalışmada Ercan (2006), üç farklı bertaraf tesisinde atıkların taşınmasından imha ve geri kazanımına kadar olan süreçleri inceleyerek tehlikeli atık bertaraf metodlarını ve tesiste ortaya çıkabilecek riskleri araştırmıştır. Benzer bir çalışmada Akkuş (2013), tehlikeli atık geri kazanım tesisinde iş güvenliği açısından ortaya çıkabilecek tehlike ve riskleri analiz ederek kabul edilebilir seviyelerde tutabilmek amacıyla alınması gereken önlemleri belirlemiştir.

Bu çalışma, Mersin ilinde faaliyet gösteren bir tehlikeli atık geri kazanım tesisi çalışanları üzerinde yapılan analizleri kapsamaktadır. Çalışmanın ilk aşamalarında atıklarla ilgili tüm bilgiler toplanmış, belirlenen bertaraf tesisi ve atıkların depolandığı saha alanında gözlem yapılmıştır. Araştırmada, bu zamana kadar tesise hizmet veren Ortak Sağlık ve Güvenlik Birimi (OSGB)'lerden kayıtlı teşhis verileri alınarak atığın tesise taşınması, nerelerden alındığı, transferi (maruziyet süresi), imha edilmesi ve ayrıştırılmasına kadar geçen süre değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmede, 2015 yılından bu yana tutulan sağlık raporları esas alınmıştır. Tesise gelen atıklar ve içerikleri ile ilgili raporlar ve dosyalar incelenerek malzemelerin insan vücudundaki etkileri, temasla ve solunmayla biyolojik açıdan nasıl riskler taşıdığı analiz edilmiştir. Günlük ve aylık ortalama gelen atık miktarları, ilgili bakanlığın oluşturduğu atık yönetim uygulaması portalına giriş yapılarak belirlenmiş, çalışanların maruziyet süreleriyle orantılı olarak oluşabilecek meslek hastalıkları tespit edilmiş ve bu kayıtlarla 5x5 L Tipi Matris yöntemi kullanılarak bir risk analizi yapılmıştır. Bu hastalıklar, kayıtlara geçmiş olanlar referans alınarak firma sahibi, tesis yetkilisi, doktor ve uzman eşliğinde yapılan çalışmalarla belirlenmiştir. Bununla birlikte, fiziksel, kimyasal ve biyolojik faktörler birlikte değerlendirmeye alınarak genel bir risk analizi yapılmıştır. Tüm faktörler için mevcut riskler ve sebep olabilecekleri meslek hastalıkları belirlenmiştir. Genel değerlendirme için 5x5 L Tipi Matris ve Fine Kinney yöntemleri uygulanmış ve iki yönteminin analiz sonuçları birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan risk analizlerinden elde edilen veriler doğrultusunda, atık bertaraf tesislerinde ortaya çıkabilecek risklerin azaltılması amacıyla alınması gereken önlemler ortaya konulmuştur.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada atığın alınmasından bertarafına kadar geçen sürede oluşabilecek risklerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Tesiste risk teşkil eden her materyal teşhis edilerek gerekli önlemlerin alınabilmesi için risk analizi yapılmıştır. Risk analizlerinde, biyolojik risk faktörleri için 5x5 L Tipi Matris, fiziksel, kimyasal ve biyolojik risk faktörlerinin genel değerlendirmesi içinse 5x5 L Tipi Matris ile Fine Kinney yöntemleri kullanılmıştır.

Çalışmaların yapılacak olduğu firmaya bağlı iki tesiste toplam 30 kişi çalışmaktadır. Tehlikeli atık tesisinde çalışan sayısı ise 15'dir. Tehlikeli atık tesisi çalışanları çalışma dağılımında; 5 kişi idari binada, 10 kişi ise saha elemanı olarak çalışmaktadır. Kamu kurum ve kuruluşlarından alınan veya çeşitli sektörlerle ilgilenen işletmelerden çıkan atıklar, Çevre ve Şehircilik Bakanlığında alınan lisans kapsamında bulunuyorsa tesise kabulü yapılmaktadır. İşletmede mevcutta var olan atıkların ve piyasadan kabul edilen atıkların geri kazanım işlemi gerçekleştirilmektedir.

### 2.1. 5x5 L Tipi Matris Risk Değerlendirme Yöntemi

Risk analizi yöntemlerinden 5x5 L Tipi Matris, daha çok sebep-sonuç (neden-sonuç) ilişkilerinin belirlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Bu metot ile öncelikle bir olayın gerçekleşme ihtimali ile gerçekleşmesi halinde neleri doğurabileceğinin derecelendirilmesi yapılır. Risk değeri, olasılık ve şiddet (etki) değerlerinin çarpılmasıyla hesaplanır;

$$Risk = Olasılık \times Şiddet$$

burada olasılık, bir olayın belirli zaman dilimleri içerisinde gerçekleşme durumunu; şiddet ise tehlikenin oluşması durumunda iş yerinde ortaya çıkacak zararın derecesini göstermektedir (Usanmaz ve Köse, 2019).

Şiddet değeri (soldan sağa) ve olasılık değeri (yukarıdan aşağıya) doğru numaralandırılarak tabloya yazılır. Şiddet ve olasılık düzeylerinin en düşük değeri 1, en yüksek değeri ise 5'tir. Sırayla verilen yatay ve dikey değerler birbiri ile çarpılarak her bir olayın risk puanı hesaplanır. Puanların hesaplanmasında kullanılacak olasılık ve şiddet derecelendirme tabloları, sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 1. 5x5 L Tipi Matris yöntemi şiddet değerlendirme tablosu

Derece	Şiddet	Puan
Çok Hafif	İş Saati Kaybı Yok – Sadece İlk Yardım	1
Hafif	İş Günü Kaybı Yok – İlk Yardım veya Tıbbi Tedavi	2
Orta	İş günü Kayıplı Kaza – Hafif Yaralanma	3
Ciddi	Uzuv Kaybı, Ağır Yaralanma – Uzun Süreli Tedavi	4
Çok Ciddi	Ölüm, Çevresel Felaket	5

Tablo 2. 5x5 L Tipi Matris yöntemi olasılık değerlendirme tablosu

Derece	Olasılık	Puan
Çok Küçük	Neredeyse Mümkün Değil (Yılda Bir)	1
Küçük	Az Olasılıkla (Yılda Birkaç Kez)	2
Orta	Olasılık Dâhilinde (Ayda Bir)	3
Yüksek	Yüksek Olasılık (Haftada Bir)	4
Çok Yüksek	Kaçınılmaz (Her Gün)	5

5x5 L Tipi Matris yönteminde, olasılık ve şiddet puanları kullanılarak elde edilen risk değerleri, Tablo 3'de verilen matrise göre derecelendirilmektedir.

Tablo 3. 5x5 L Tipi Matris yöntemi risk değerlendirme tablosu

		Şiddet				
		Çok Hafif (1)	Hafif (2)	Orta (3)	Ciddi (4)	Çok Ciddi (5)
Olasılık	Çok Küçük (1)	1	2	3	4	5
	Küçük (2)	2	4	5	8	10
	Orta (3)	3	6	9	12	15
	Yüksek (4)	4	8	12	16	20
	Çok Yüksek (5)	5	10	15	20	25

Dikey konumlandırma (olasılık) ve yatay konumlandırma (şiddet) çarpımıyla elde edilen puanların açıklaması aşağıda verilmektedir;

1-2 Puan: Önemsiz olarak nitelendirilir. Pek fazla önem arz etmeyen, kabulü yapılabilen risklerdir.

3-6 Puan: Katlanılabilir olarak nitelendirilir. Uzun dönemde oluşan dikkat gerektiren, katlanılabilir risk grubudur.

8-12 Puan: Orta düzey olarak nitelendirilir. Önem arz eden, kısa dönemde önlem alınması gereken risklerdir.

15-16 Puan: Önemli olarak nitelendirilir. Son derecede önem arz eden, anında önlem alınması gereken risk grubudur.

20-25 Puan: Katlanılamaz olarak nitelendirilir. Herhangi bir tedbir alınmadan işe başlanmasının kabul görmediği risk grubudur.

5x5 L Tipi Matris yöntemi, hassas olmamasına rağmen basit ve kolay uygulanabilir olması açısından risk analizi yapmak zorunda olan işletmeler için idealdir ve bu nedenle, yaygın bir şekilde kullanılır (Demirel, 2016). Genelde az tehlikeli ve tehlikeli çalışma alanlarının değerlendirilmesinde tercih edilmektedir (Zaloğlu, 2019).

## 2.1. Fine Kinney Risk Değerlendirme Yöntemi

Fine Kinney, risk derecelerinin ve bu derecelere göre hangi tedbirlerin alınması gerektiğinin belirlenmesi amacıyla kullanılan bir risk analizi yöntemidir. Bu yöntemde risk düzeyi hesaplanırken olasılık, şiddet ve frekans olmak üzere üç parametre değerlendirmeye alınır (Oturakçı ve Dağsuyu, 2017). Fine kinney'de 5x5 L Tipi Matristen farklı olarak frekans faktörü bulunmaktadır. Bununla birlikte, şiddet ve olasılık faktörlerinin puan skalası da 5x5 L Tipi Matris yöntemine göre farklılık göstermektedir. Fine Kinney yönteminde şiddet 1 ile 100 arası bir değer alırken, olasılık 0,2 ile 10 arasında değişmektedir.

Fine Kinney'e göre risk puanı aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$Risk = Olasılık \times Şiddet \times Frekans$$

burada frekans faktörü, belirli bir zaman içerisinde tehlikeye maruz kalmanın ne kadar tekrarlandığını ifade etmektedir. Frekans puanı, 0,5 ile 10 arası bir değer almaktadır ve altı kategoriden oluşmaktadır. Olasılık değeri bulunurken, bir hasarın veya zararın ortaya çıkma ihtimali göz önüne alınmaktadır. Şiddet faktörü ise kişilerin, iş yerinin veya çevrenin etkilenme derecesine göre değerlendirilmektedir. Fine Kinney'de olasılık, şiddet ve frekans derecelendirme tabloları, sırasıyla Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6'da verilmektedir.

Tablo 4. Fine Kinney yöntemi şiddet değerlendirme tablosu

Şiddet	Puan
Ramak Kala – Çevresel Zarar Yok	1
Küçük Hasar, Yaralanma, İlk Yardım – Sınırlı Çevresel Etki	3
Önemli Hasar, Yaralanma, Tıbbi Tedavi- Geniş Çevresel Etki	7
Kalıcı Hasar, Sakatlık, Uzun Süreli Tedavi – Önemli Çevresel Etki	15
Ölüm – Ciddi Çevresel Etki	40
Birden Fazla Ölüm – Çevresel Felaket	100

Tablo 5. Fine Kinney yöntemi olasılık değerlendirme tablosu

Olasılık	Puan
Pratik Olarak İmkânsız-Beklenmeyen	0,2
Mümkün Ancak Beklenmeyen	0,5
Mümkün Ancak Düşük İhtimal	1
Mümkün	3
Oldukça Mümkün	6
Kesin, Beklenir	10

Tablo 6. Fine Kinney yöntemi frekans değerlendirme tablosu

Frekans	Puan
Çok Seyrek (Yılda bir veya daha az)	0,5
Seyrek (Yılda birkaç defa)	1
Nadiren (Ayda bir veya birkaç defa)	2
Ara Sıra (Haftada bir veya birkaç defa)	3
Sık (Günde bir veya birkaç defa)	6
Sürekli (Saatte birkaç defa)	10

Fine Kinney yönteminde, bir riskin gerçekleşme olasılığı, tehlikeye maruz kalma sıklığı ve şiddet derecesi göz önüne alınarak hesaplanan risk değeri (R) aşağıdaki tabloda verilen sınıflandırmaya göre değerlendirilir (Tablo 7).

Tablo 7. Fine Kinney yöntemi risk değerlendirme tablosu

Risk Değeri	Risk Sınıflandırması
$R < 20$	Önemsiz (Düşük Risk) – Kabul edilebilir
$20 < R < 70$	Olası Risk – Uzun vadede önlemler alınıp iyileştirilmelidir ve gözetim altında tutulmalıdır
$70 < R < 200$	Ciddi Risk – Kısa dönemde iyileştirilmelidir
$200 < R < 400$	Kritik Risk – Çok kısa sürede iyileştirilmelidir
$R > 400$	Kabul Edilemez Risk – İyileşene kadar işe ara verilmelidir

Risk değerinin 20'den az bulunması durumunda risk kabul edilebilir seviyededir ve önemsiz risk olarak kabul edilir. Risk değerinin 20 ile 70 arasında olması durumunda, bu aralıktaki riskler için herhangi bir yasal gereklilik yoksa tedbir alınması gerekmemektedir. Bu durumda var olan koruma tedbirlerinin sürdürülmesine devam edilmeli ve uzun dönemde iyileştirmeler yapılmalıdır. Riskin ortaya çıkma potansiyeli göz önünde bulundurularak, risklerin oluşmaması için çalışma ortamı sürekli gözetim altında tutulmalıdır. Risk değerinin 70 ile 200 arasında olması durumunda ise ciddi risk ortaya çıkmaktadır. Bu risklerde düzeltici/önleyici önlemler alınarak, kısa dönemde iyileştirme yapılmalıdır. Risk düzeyinin 400'den fazla çıkması durumunda kabul edilemez risk oluşmaktadır. Bu risk durumunda, insan ve çevre sağlığını tehdit eden tehlikeyle ilgili iyileştirme yapılınca kadar işin durdurulması gerekmektedir.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışmanın yapıldığı tesis, tehlikeli/tehlikesiz atık toplama üzerine faaliyet göstermektedir. İşletmenin faaliyetleri, atığın lisanslı bir araçla tesise getirilmesi ile başlamaktadır. Tesise gelen lisanslı araç tesis girişinde; görsel kontrole, atık kodu kontrolüne, sürücü ve araç belgeleri kontrolüne, atık belgeleri (beyan formları, kantar fişi, irsaliye) kontrolüne tabi tutulmaktadır. Kontroller sonucunda uygunsuzluk tespit edilen atıklar tesise kabul edilmemektedir. Kontroller sonucunda uygun olan araçların, seyyar radyasyon cihazı ile ölçümü yapılmaktadır. İşlemler sonucu tesise kabul edilen atık araçları, boşaltılmak üzere tesise yönlendirilmektedir. Tesise her sektörden, özellikle hastane, metal, kimya sanayinden atıklar gelmektedir. Gelen malzemenin cinsine göre gerekli ön işlemler (yıkama, kesme vb.) yapılmaktadır. Metal ambalajlı atıkların (varil, bidon vb.) içindeki ilaç, boya, tiner, deterjan hammaddelerinin kullanılması sonucu ambalajda kalıntılar olması ve ambalajlara yağ, ilaç bulaşması sonucu tehlikeli atıklar oluşmaktadır. Tehlikeli atıkların taşınmasından bertarafına kadar geçen süreçte iş kazaları ve meslek hastalıklarına sebep olabilecek fiziksel, kimyasal ve biyolojik risk faktörleri ortaya çıkmaktadır. Atıkların taşınması, yüklemesi, boşaltılması, manuel söküm ve kesme-biçim işlemlerinde yaralanmalar yaşanabilmektedir. Tehlike kaynaklarına göre tehlikeli atık tesislerinde çalışanlarda; gürültüden kaynaklı işitme kayıpları, radyasyon etkisi ile genetik bozukluklar, titreşime bağlı olarak beyaz parmak hastalığı, aydınlatmaya bağlı olarak görme bozuklukları, sıcaklığa bağlı rahatsızlıklar, kimyasal maddelere maruz kalma, toz ve kimyasallardan kaynaklı solunum rahatsızlıkları, alerjik durumlar, vücutta yanıklar, viral enfeksiyonlar, bakteriyel kaynaklı hastalıklar (burucellozis, pnömoni, tüberküloz vb.) ve yüzeysel deri lezyonları gibi rahatsızlıklar meydana gelebilmektedir.

Atık bertaraf tesisleri, Biyolojik Etkenlere Maruziyet Risklerinin Önlenmesi Hakkında Yönetmelik'e göre atık bertaraf tesisleri biyolojik risk etmenleriyle karşılaşılması muhtemel iş ortamları arasında sayılmaktadır. Araştırma konusu tesisteki biyolojik risk faktörlerinin değerlendirilmesi ve meslek hastalıkları ile ilişkisinin araştırılması amacıyla öncelikle atıklarla ilgili tüm bilgiler toplanmış, belirlenen bertaraf tesisi ve atıkların depolandığı saha alanında gözlem yapılmıştır. Tesise gelen atıklar ve içerikleri ile ilgili raporlar ve dosyalar incelenerek malzemelerin insan vücudundaki etkileri, temasla ve solumayla biyolojik açıdan nasıl riskler taşıdığı analiz edilmiştir. Genel olarak biyolojik risk faktörleri, 4 gruptan oluşmaktadır;

Grup 1: İnsanda hastalığa yol açma ihtimali olmayan biyolojik etkenler.

Grup 2: İnsanda hastalığa neden olabilen, çalışanlara zarar verebilecek, ancak topluma yayılma olasılığı olmayan, genellikle etkili korunma veya tedavi imkânı bulunan biyolojik etkenler.

Grup 3: İnsanda ağır hastalıklara neden olan, çalışanlar için ciddi tehlike oluşturan, topluma yayılma riski bulunabilen ancak genellikle etkili korunma veya tedavi imkânı olan biyolojik etkenler.

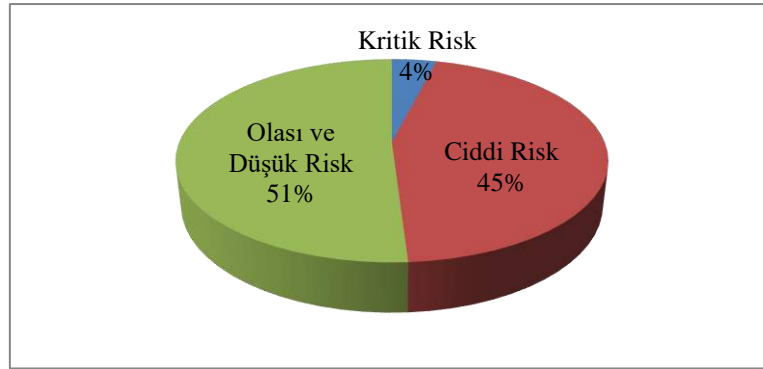


Grup 4: İnsanda ağır hastalıklara neden olan, çalışanlar için ciddi tehlike oluşturan, topluma yayılma riski yüksek olan ancak etkili korunma ve tedavi yöntemi bulunmayan biyolojik etkenler.

Tehlikeli atık bertaraf/geri kazanım tesislerinde yapılan işler ve iş süreçleri göz önüne alındığında, tesiste ortaya çıkabilecek biyolojik risk faktörlerinin Grup 1 ve Grup 2’de yer alabileceği değerlendirilmiştir. Çalışmada öncelikle, bu gruplarda yer alan biyolojik risk faktörlerinin meslek hastalığına sebep olup olamayacağı araştırılmıştır. Bunun için, bu zamana kadar tesise hizmet veren Ortak Sağlık ve Güvenlik Birimi (OSGB)’lerden kayıtlı meslek hastalığı teşhis verileri alınarak, meslek hastalıklarının, atığın tesise taşınması, nerelerden alındığı, transferi (maruziyet süresi), imha edilmesi ve ayrıştırılmasına kadar geçen süreçlerde ortaya çıkabilecek biyolojik risk faktörleri ile olan ilişkisine bakılmıştır. İnceleme sonucunda meslek hastalığı ve biyolojik faktörler arasında bir ilişki bulunamamıştır.

Çalışmanın ilk aşamasında, biyolojik risk faktörleri ile meslek hastalıklarına sebep olabilecek biyolojik risk faktörleri, 5x5 L Tipi Matris yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonucunda, tesiste yapılan işlerde, biyolojik faktörlerden kaynaklı 11 adet risk belirlenmiştir. Bu risklerin 9 tanesi 2.kategoride yani orta risk grubunda, 2 tanesi ise 3. kategori yani düşük risk grubunda yer almaktadır. Örneğin, akü parçalama esnasında çalışanın, kurşun, cıva gibi ağır metalleri solunması durumunda, 5x5 L Tipi Matris yöntemine göre olasılığı 3, şiddeti 3 olduğundan risk skoru 9 bulunmuştur; 2. kategoride yani orta risk grubundadır. Bir diğer örnekte ise müşterek kullanılan tuvalet ve duşlarda bir çalışandan diğer bir çalışana hastalık bulaşması 5x5 L Tipi Matris yöntemine göre değerlendirildiğinde, olasılığı 3, şiddeti ise 5 olduğundan risk skoru 15 olarak elde edilir. Buna göre 15 risk skoru 2. Kategoride, orta risk grubunda yer almaktadır. Bu yöntemde, orta riskler için kısa dönemde iyileştirme yapılması, düşük riskler için ise uzun dönemde iyileştirme yapılması ve gözetim altında tutulması gerekmektedir.

Çalışmanın ikinci aşamasında, 5x5 L Tipi Matris ve Fine Kinney yöntemleri kullanılarak genel bir risk analizi yapılmıştır. Genel riskler 3 kategoride fiziksel, kimyasal, biyolojik faktörler yönünden incelenmiştir. Risklerin belirlenmesinde, sorumlu OSGB tarafından kitle-iletişim araçları yoluyla yapılmış mevcut anketler kullanılmış; çalışanlar ve uzmanlar tarafından işaretlenen riskler seçilmiştir. Tehlikeli atık bertaraf tesisinde yapılan risk değerlendirmesi analizi sonucunda iki metotta da 47 adet risk tespit edilmiştir. 5x5 L Tipi Matris yöntemine göre yapılan risk değerlendirmesinde, 47 adet riskten, 27 tanesinin yüksek risk, 13 tanesinin orta risk, 7 tanesinin ise düşük risk grubunda olduğu belirlenmiştir. Fine Kinney yöntemine göre ise tespit edilen 47 adet riskin; 21 tanesi ciddi risk, 21 tanesi olası risk, 2 tanesi kritik risk, 3 tanesi ise düşük risk grubundadır. Buna göre, toplam risklerin %4’ünün kritik risk (200-400), %45’inin ciddi risk (70-200) %51’inin olası risk (20-70) ve düşük risk (0-20) olduğu görülebilmektedir (Şekil 1). Analizlerde, elde edilen risk durumlarına göre alınması gereken önlemler belirlenmiştir (Ölçücü Şensoy, 2019). Riskler etki türüne göre değerlendirildiğinde, en fazla riskin sağlık ve türevlerinden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Her iki yöntemle yapılan analizler sonucunda belirlenen risklerden bazıları Tablo 8’de verilmektedir. Verilen örnek durumlar için önerilen önlemler sonrasında risk derecelerinin ne ölçüde azalacağı da Tablo 8’de belirtilmektedir.



Şekil 1. Genel risklerin düzeylerine göre dağılımı

İki yöntemle yapılan risk değerlendirmesinde farklı işler için farklı risk değerlerinin elde edildiği durumlar ortaya çıkmıştır. Fine Kinney yönteminde frekans faktörü devreye girdiğinden sıklıkla tekrar edilen işlerde sonuçlar farklı çıkabilmektedir. Örneğin uzun süreli kaynak dumanının solunması sonucu akciğer rahatsızlığının ortaya çıkması durumu için risk skoru, 5x5 L Tipi Matris yöntemine göre 12’dir. Bu orta düzey risk grubuna girmektedir. Ancak Fine Kinney yönteminde biraz daha detaylandırıp o riskin zaman içerisinde ne sıklıkla yaşandığı da değerlendirmeye alındığından daha ayrıntılı bir risk analizi ortaya çıkar ve buna göre, olasılık 3, şiddet 40 ve frekans 1 (ayda 1 veya birkaç defa oluşması) olmak üzere risk skoru 120 elde edilir. Bu durum ise ciddi risk grubuna girmektedir. Bu grup riskleri için kısa sürede tedbirler planlanmalı ve gerçekleştirilmelidir, kapatma ve durdurma önerilmez. 5x5 L Tipi Matris yöntemine göre ise belirlenen riskleri düşürmek için faaliyetlerin başlatılması gerektiği sonucu ortaya çıkmıştır.

Bir başka örnek olarak, kesikler ve yaralanmalar sonucu kan ile bulaşabilecek virüslerin (hiv, hepatit b, hepatit c vb.) diğer çalışanlara bulaşması durumu ele alındığında, 5x5 L Tipi Matris yönteminde, olasılığı 4, şiddeti 4 olduğundan risk skoru 16 olmaktadır. Aynı risk için, Fine Kinney yönteminde ise olasılık 3, şiddet 40, frekans 1 (ayda 1 veya birkaç defa oluşması) olmak üzere risk skoru 120 elde edilmektedir. Bu skora göre risk, ciddi olarak değerlendirilmektedir. Fine Kinney’e göre, risk değerinin 70 ile 200 arasında olması durumunda düzeltici/önleyici önlemler alınarak, kısa dönemde iyileştirme yapılması gerekmektedir. Bu risk 5x5 L Tipi Matris yönteminde ise önemli risk grubunda yer almaktadır. Önemli risk grubuna giren riskler için belirlenen risk azaltılınca kadar iş başlatılmamalı eğer devam eden bir faaliyet varsa derhal durdurulmalıdır. Risk için acil önlemler alınmalı ve bu önlemler sonucunda faaliyetin devam edip etmeyeceğine karar verilmelidir.

Tablo 8. 5x5 L Tipi Matris ve Fine Kinney risk değerlendirme sonuçları

Tehlike/Risk Durumu	Alınacak Önlemler	5x5 L Tipi Matris		Fine Kinney	
		Başlangıç Riski	Kalan Risk	Başlangıç Riski	Kalan Risk
Kesikler ve yaralanmalar sonucu kan ile bulaşabilecek virüslerin (hiv, hepatit b vb.) diğer çalışanlara bulaşması	Deriyi kesebilecek delecak aletler kullanılırken veya açık, kanayan yara/kesiklerin bulunması durumunda eldiven kullanılmalıdır.	16	4	120	8
Aynı ortamda yatan personellerin solunum yolu ile birbirlerine hastalık bulaştırması	Yatakhaneler düzenli aralıklarla temizlenmeli, havalandırılmalı ve periyodik aralıklarla sağlık tetkikleri yapılmalıdır.	16	4	120	8
Yanlış taşıma yöntemleri kullanılması sonucu bel/boyun rahatsızlıklarının ortaya çıkması	Yönetmeliğe uygun taşıma yöntemleri uygulanmalıdır.	16	4	120	8
Uzun süreli kaynak dumanının solunması sonucu kalıcı akciğer rahatsızlığının ortaya çıkması	Kaynak esnasında standartlara uygun maske kullanılmalı, düzenli aralıklarla mola verilmeli ve havalandırma yapılmalıdır.	16	4	120	8
Yangın mücadele ekipmanlarının kolay erişilir yerde olmaması, müdahale güçlüğü	Yönetmelik gereğince yangın tüplerinin yerden yüksekliği 90 cm-120 cm arasında olması sağlanmalıdır	16	4	300	10
Uzatma kablolarının yerden veya sulu zeminden geçmesi	Uzatma kabloları kablo kanallarından geçirilmelidir.	16	4	60	10
Ekranlı araçlarla çalışma yapan personelin periyodik göz muayenelerinin takip edilmemesi	Ekranlı araçlarla çalışma yapan personelin periyodik göz muayeneleri yapılmalıdır.	9	4	45	3,75
Çalışan personele tetanoz aşısı yaptırılmaması	Tüm çalışanlara tetanoz aşısı yaptırılmalı, aşı kartı özlük dosyalarında saklanmalıdır.	12	4	75	1,5
Yangın teçhizatının periyodik kontrollerinin yapılmaması	Yönetmelik gereğince yangın tüplerinin periyodik olarak yılda en az bir defa kontrol edilmesi sağlanmalıdır.	12	4	120	20

Genel olarak bir değerlendirme yapıldığında iki metod arasındaki farkın büyük oranda frekans faktöründen kaynaklandığı ileri sürülebilir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, 5\*5 matrisin puan skalası daha kısıtlı olduğundan, Fine Kinney yöntemine göre daha dar aralıklara hitap etmektedir. Fine Kinney yönteminde frekans faktörünün etkisiyle, iş yerinde riskin yaşanma sıklığı da ele alındığından daha iyi sonuçlar elde edilebilmektedir (Okumuş ve Barlas, 2016). Ayrıca yöntem, işyerinin istatistik verilerinin kullanılması nedeniyle daha gerçekçi sonuçlara ulaşılabilmesini sağlamaktadır (Erzurumluoğlu vd., 2015). Çalışmada, kullanılan bu iki yöntemden hangisinin daha net ve gerçekçi sonuçlar verdiği, analizlerden elde edilen risk dereceleri, alınacak önlemler ve önlemlerin ne kadar yararlı olabileceği durumuna göre değerlendirilmiştir. Buna göre, tehlikeli atık bertaraf tesislerinde, riskleri detaylandırılarak incelemesi ve gerçeğe yakın sonuçlar vermesi nedeniyle Fine Kinney yönteminin daha uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

#### 4. Sonuç

Yapılan bu çalışmada, artan sanayileşmenin sonucu olarak yaygınlaşan tehlikeli atık tesislerinde meslek hastalıklarının oluşmasına sebep olan biyolojik risk faktörleri ile fiziksel, kimyasal ve biyolojik faktörler açısından genel risk faktörleri değerlendirilmiştir. Çalışmada öncelikle biyolojik risk faktörlerinin meslek hastalıkları ile olan ilişkisi araştırılmıştır. Biyolojik risk faktörlerinin meslek hastalıkları ile ilişkili olduğu fakat herhangi bir meslek hastalığına neden olmayacağı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, biyolojik risk faktörleri açısından 5x5 L Tipi Matris yöntemi kullanılarak bir risk analizi yapılmış ve en fazla orta düzeyde risklerin bulunduğu belirlenmiştir. Biyolojik faktörlerin yanı sıra riskler genel olarak değerlendirilmiş ve iki farklı yöntemle analiz edilmiştir. Genel riskler oluşturulurken 5x5 L Tipi Matris ve Fine Kinney yöntemleri kullanılmıştır. Genel değerlendirmede 47 adet risk bulunmuş ve alınması gereken önlemler belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar yöntemler açısından karşılaştırıldığında, Fine Kinney yönteminin basit, kolay ve anlaşılabilir olması, üç faktörün olasılık, frekans ve şiddet parametrelerinin çarpılarak risklerin derecelendirilmesi, her sektöre uygulanabilmesi, gerçekçi sonuçlar vermesi gibi avantajları göz önünde bulundurularak Fine Kinney yönteminin atık bertaraf tesislerinde kullanılmasının uygun olacağı önerilmiştir.

## Kaynakça

- Akgün, S. (2006). *Sanayileşme Sürecinde Çevre Kalitesine Verilen Önem; Firmaların Yaklaşımları*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi.
- Akkuş, E. (2013). *Tehlikeli Atık Geri Kazanım Tesisinde İş Sağlığı Güvenliği*, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi.
- Demirel, H. (2016). *Demir Yolu Makas Üretiminde Risk Değerlendirmesi*, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü.
- Demirel, S. & Sert, N. (2018). Bir Plastik Geri Dönüşüm Tesisinde Ön Tehlike Analizi (PHA) ile Risk Değerlendirmesi, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 572-580.
- Ercan, M. (2006). *Tehlikeli Atık Bertaraf Tesislerinin İş Sağlığı ve Güvenliği Yönünden İncelenmesi*, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü.
- Erzurumluoğlu, K., Köksal, K.N., Gerek, İ.H. (2015). İnşaat Sektöründe Fine-Kinney Metodu Kullanılarak Risk Analizi Yapılması, *5. İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu*, 137-146, İzmir, Türkiye.
- Karagözoğlu, B.M., Özyonar, F., Yılmaz, A., Atmaca, E. (2009). Katık Atıkların Yeniden Kazanımı ve Önemi, *Türkiye’de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye.
- Kayhan, E. & Demirel, A. (2016). Polimer İşleme Sektörlerindeki Meslek Hastalıkları, Kazalar ve İş Güvenliği, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20(3), 497-507.
- Okumuş, D. & Barlas, B. (2016). Gemi İnşaatı Sektöründe 5x5 Analiz Matrisi ve Fine-Kinney Yöntemlerinin Uygulamalı Bir Karşılaştırması, *Gemi ve Deniz teknolojisi Dergisi*, 204-205, 95-106.
- Oturakçı, M. & Dağsuyu, C. (2017). Risk Değerlendirmesinde Bulanık Fine-Kinney Yöntemi ve Uygulaması, *Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, 1(1), 17-25.
- Ölçücü Şensoy, H. (2019). *Tehlikeli Atık Bertaraf Tesislerinde Meslek Hastalığı ve Biyolojik Faktörler Açısından Risk Değerlendirmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Tarsus Üniversitesi.
- Şengöz, M.C. & Merdan, M. (2017). Fine-Kinney Risk Analizi Metoduyla, İşyerlerinde Elektrik Nedenli Yangınların Önlenmesinde Yeni Bir Yöntem, *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(3), 74-82.
- Usanmaz, D. & Köse, E. (2019). Karşılaştırmalı Risk Analizi Metodlarının Bir Araştırma Merkezi İçin Uygulanması ve Sonuçların Değerlendirilmesi, *2. International Mediterranean Symposium*, 1, 140-158, Mersin, Türkiye.
- Zaloğlu, D.I. (2019). *İş Sağlığı ve Güvenliği Kapsamında Fosil Lokalitesinde Fine Kinney Metodu ile Risk Değerlendirmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi.



# Ülkelerin Yaşam Kalitelerine Göre Değerlendirilmesi İçin Hibrit Pisagor Bulanık Ahp-Topsis Metodolojisi: Avrupa Birliği Örneği

Aslıhan Yıldız<sup>1\*</sup>, Ertuğrul Ayyıldız<sup>2</sup>, Alev Taşkın Gümüş<sup>3</sup>, Coşkun Özkan<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5288-7967)

<sup>2</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6358-7860)

<sup>3</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1803-9408)

<sup>4</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0318-8614)

(İlk Geliş Tarihi 2 Aralık 2019 ve Kabul Tarihi 31 Aralık 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.658021)

**ATIF/REFERENCE:** Yıldız, A., Ayyıldız, E., Gümüş, A. T. & Özkan, Ç. (2019). Ülkelerin Yaşam Kalitelerine Göre Değerlendirilmesi İçin Hibrit Pisagor Bulanık Ahp-Topsis Metodolojisi: Avrupa Birliği Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1383-1391.

## Öz

Çalışmada, Avrupa Birliği (AB) üyesi otuz bir ülke analiz edilmiştir. Avrupa Birliğinin, ülkelerin yaşam kalitesini değerlendirmek amacıyla belirlediği kriterler incelenerek, literatür taraması ve uzman görüşleri yardımıyla kriterler güncellenmiştir. Bu kriterler, ekonomik ve sosyal kalkınmanın temel ölçülerinden olan ve farklı yönleri temsil eden dokuz kriter olarak özetlenebilir. Bu dokuz kriter Yaşam Koşulları, Çalışma Durumu, Eğitim, Sağlık, Sosyal İlişkiler, Güvenlik, Yönetim, Çevre ve Barınma olarak belirlenmiştir. Ardından uzmanların kriterler hakkındaki görüşleri Modifiye Delphi Yöntemi ile birleştirilmiştir. Kriter ağırlıkları, Pisagor Bulanık AHP yöntemi ile Modifiye Delphi Yöntemi'nden elde edilen ikili kıyaslama matrisi kullanılarak elde edilmiştir. Daha sonra otuz bir ülke arasında yaşam kalitesine göre sıralama yapmak amacıyla TOPSIS yöntemi kullanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Pisagor Bulanık AHP, TOPSIS, Yaşam Kalitesi, Avrupa Birliği.

## Pythagorean Fuzzy AHP-Topsis Methodology for the Evaluation of Countries According To Life Quality: European Union Case

### Abstract

Thirty-one member countries of the European Union (EU) were analyzed within the study. The criteria determined by the European Union to evaluate the quality of life of the countries were examined and updated with the literature review and experts' opinions. These quality of life criteria can be summarized as nine criteria which are the basic measures of economic and social development and represent different aspects. These nine criteria were determined as Material Living Conditions, Working Status, Health, Education, Social Relations, Safety, Governance and Basic Rights, Natural and Living Environment, and Housing. Then, the opinions of the experts about the criteria were consolidated with the Modified Delphi Method. The weights of each criterion were obtained by the Pythagorean Fuzzy AHP method using pairwise comparison matrix obtained from the Modified Delphi Method. Then, TOPSIS method was used to compare the quality of life among thirty-one countries.

**Keywords:** Pythagorean Fuzzy AHP, TOPSIS, Quality of Life, European Union.

\* Sorumlu Yazar: Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0001-5288-7967, [aslihan@yildiz.edu.tr](mailto:aslihan@yildiz.edu.tr)

## 1. Giriş

Dünya genelinde kullanılan teknoloji günden güne gelişmektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte insanların yaşamı daha kolay hale gelmektedir. Bu da beraberinde daha kolay bir toplum yaşamı vadetmektedir. İnsan yaşamı kolaylaştıkça, toplumların refah seviyesi de bu durumla birlikte yükselmektedir. Bu gelişmeler sonucunda, refah seviyesini belirleyen en önemli bileşenlerden biri olan yaşam kalitesine verilen önem bu anlamda her geçen gün artmaktadır. Yaşam kalitesi terimi, bireylerin ve toplumların genel refahını ifade eder. Terim, uluslararası kalkınma, sağlık ve politika alanları dahil olmak üzere çok çeşitli alanlarda farklı anlamlarda kullanılmaktadır. Ekonomiye dayanan standart yaşamla karşılaştırılmaması gereken yaşam kalitesi; sadece ekonomi ve iş istihdamını değil, bunlarla birlikte çevreyi, fiziksel ve ruhsal sağlığı, eğitimi, sosyal imkanları ve daha birçok kavramı içermektedir. Yaşam kalitesinin yükselmesi ile birlikte, bireylerin ve toplumların yaratıcılığının, standartlarının yükseleceği düşünülebilir. (Ayyıldız ve Demirci, 2018). Yaşam kalitesi aynı zamanda bireylerin endişe seviyesini de belirleyen önemli faktörlerdendir (Halvari vd., 2019). Dünya Sağlık Örgütü yaşam kalitesi terimini, bireylerin yaşadıkları toplumdaki değer sistemleri ve genel olarak kültür algıları ile ilişkili olarak ifade etmektedir. Bireylerin ve toplumların yaşam kalitelerini, bireylerin beklentileri, endişeleri ve hedefleri ile birlikte toplumun standartları belirlemektedir (Whoqol Group, 1998).

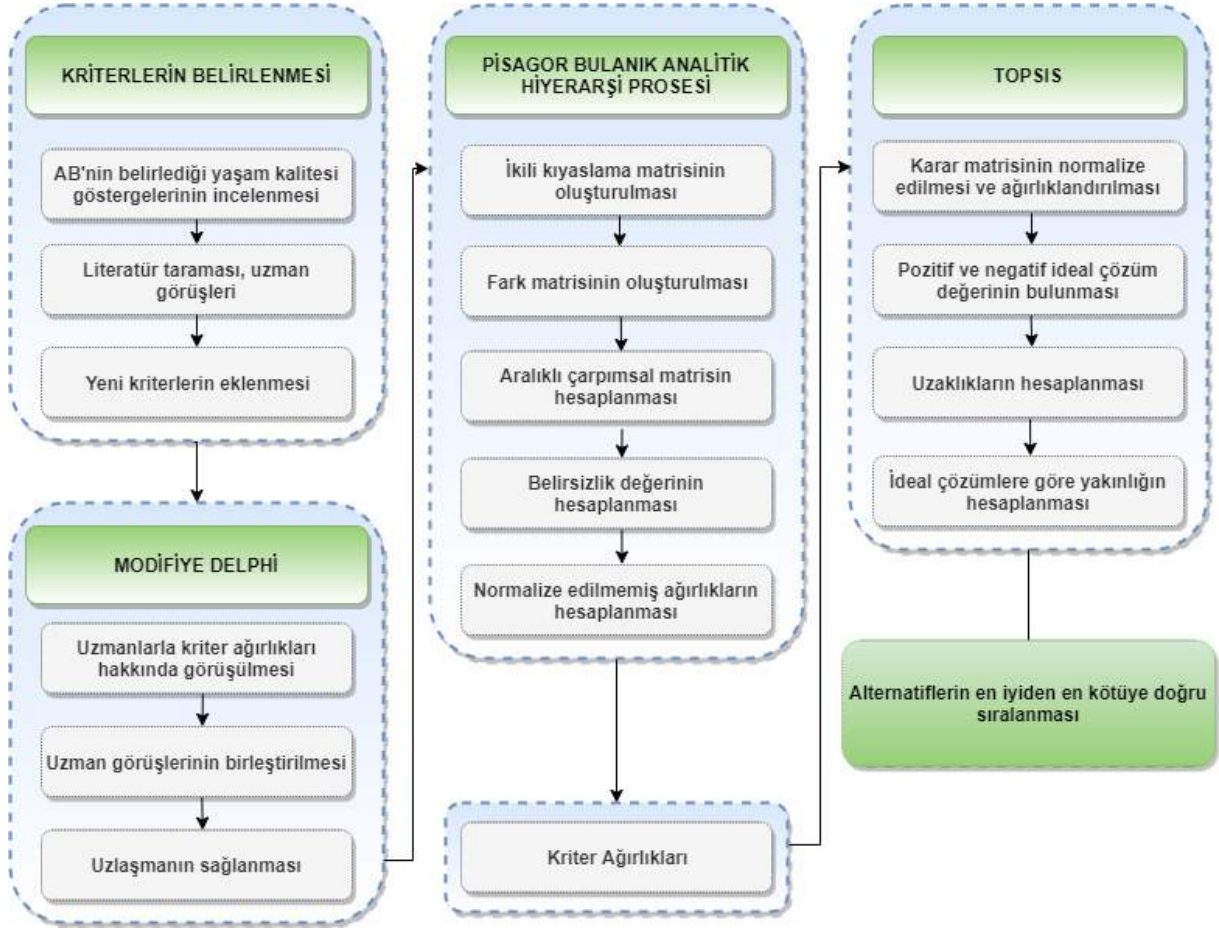
Son yıllarda araştırmacıların ilgi odağı haline gelen yaşam kalitesinin belirlenmesi, literatürde sıkça çalışılan bir konu haline gelmiştir. Çalışmalarda çok kriterli karar verme (ÇKKV) genellikle başvurulan yöntemlerdendir. Offringa ve De Wet (1996) Afrika'nın temel sorunlarından olan temiz su ihtiyacını, yaşam kalitesini gözeterek önceliklendirirken ÇKKV tekniklerine başvurmuşlardır. Jeon vd. (2010) çalışmalarında Atlanta bölgesinin yaşam kalitesini arttıracak ulaşım sisteminin belirlenmesini ÇKKV yöntemleri kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Chen (2011) bireyin yaşam kalitesini arttıran spor eğitiminde önemli faktörleri analizini DEMATEL ve ANP tekniklerini kullanarak yapmıştır. Mulliner vd. (2013) barınma özelinde yaşam kalitesini arttıracak etmenlerin karşılanabilirliğini COPRAS metoduyla incelemişlerdir. Anand vd. (2017) Hindistan özelinde yüksek yaşam kalitesi vaat eden akıllı şehirlerin sürdürülebilirliğini Bulanık AHP ve veri zarflama analizi kullanarak değerlendirmişlerdir. Zarghami vd. (2018) İran için yaşam kalitesini belirlemede kullanılan değişkenleri AHP tekniği ile incelemişlerdir. Devlin vd. (2018) İngiltere özelinde yaptıkları çalışmalarında sağlık temelli yaşam kalitesini değerlendirmek için yeni bir yöntem önermişlerdir. Silverberg vd. (2018) hasta popülasyona odaklandıkları çalışmalarında, hastalığın yaşam kalitesini nasıl etkilediğini belirlemeye çalışmışlardır. Wann-Ming (2019) geliştirmekte olan kırsal yerleşimlerin yaşam kalitesini yükseltmek için ulaşım ağının nasıl oluşturulması gerektiğini araştırmıştır. Wong vd. (2019) Hong Kong'taki obez çocukların hastalıkla birlikte düşen yaşam kalitesinin nasıl yükseltilebileceğine dair öneriler sunmuşlardır.

Çalışma kapsamında, otuz bir Avrupa Birliği (AB) üyesi ülke analiz edilmiştir. Bu ülkelerin yaşam kalitesine göre sıralanması amacıyla dokuz kriter belirlenmiş ve gerekli veriler Avrupa Birliği'nin resmi istatistik sitesinden (URL-1) elde edilmiştir. Kriterlerin çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri kullanılarak önceliklendirilmesi amacıyla uzmanlardan alınan görüşler, bulanık mantık kullanılarak sayısallaştırılmıştır. Analitik Hiyerarşik Prosesi (AHP) kullanılarak kriterlerin belirlenmesinin ardından ÇKKV yöntemlerinden biri olan TOPSIS ile ülkeler yaşam kalitelerine göre sıralanmıştır. Çalışma kapsamında önerilen yöntem, ele alınan kriterler ve yapılan uygulama sonraki başlıklarda açıklanmıştır.

## 2. Önerilen Yöntem

Yapılan bu çalışmada, Avrupa Birliği'nin ülkelerin yaşam kalitesini değerlendirmek amacıyla belirlediği kriterler incelenmiştir. Daha sonra bu kriterler, literatür taraması ve uzman görüşleri yardımıyla güncellenmiştir. Ardından uzmanların kriterler hakkındaki görüşleri Modifiye Delphi Yöntemi ile birleştirilmiştir. Kriter ağırlıkları, Pisagor Bulanık AHP yöntemi ile Modifiye Delphi Yöntemi'nden elde edilen ikili kıyaslama matrisi kullanılarak elde edilmiştir. Daha sonra otuz bir ülke arasında yaşam kalitesine göre kıyaslama yapmak amacıyla TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Önerilen yöntem Şekil 1'de açıkça görülmektedir. Yöntemin aşamaları alt bölümlerde teorik olarak detaylandırılmıştır.



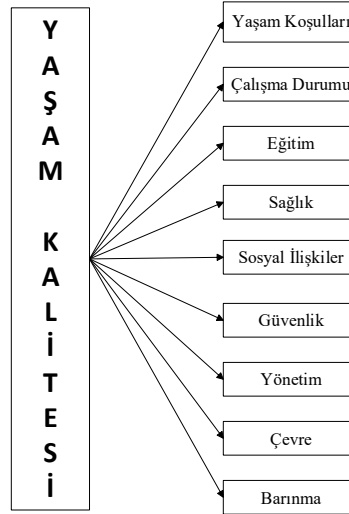


Şekil 1. Önerilen yöntem

## 2.1. Kriterlerin Belirlenmesi

Çalışma kapsamında kullanılacak kriterler belirlenirken, Avrupa Birliği'nin yayınladığı yaşam kalitesi göstergeleri temel alınmıştır. Bu yaşam kalitesi göstergeleri, ekonomik ve sosyal kalkınmanın temel ölçülerinden olan ve farklı yönleri temsil eden dokuz boyut olarak özetlenebilir. Bu dokuz boyut Yaşam koşulları, Çalışma Durumu, Eğitim, Sağlık, Sosyal İlişkiler, Güvenlik, Yönetim, Çevre ve Kişisel Yaşam Memnuniyeti (URL-1) olarak belirtilmiştir.

Yapılan literatür taramasına ve uzman görüşlerine göre “Kişisel Yaşam Memnuniyeti” kriteri yerine “Barınma” kriteri göz önüne alınmış ve dokuz kriter kullanılarak çalışma hazırlanmıştır. Ele alınan kriterler Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan kriterler

## 2.2. Modifiye Delphi Methodu

Bir konu hakkında karar verilirken, farklı uzmanlardan fikir almak gerekebilir. Bu uzmanlar; tecrübe ve uzmanlık alanlarına göre farklı görüşlere sahip olabilir. Bu gibi durumlarda Delphi yöntemi uygulanabilir. Delphi yöntemi, önceden belirlenmiş konuda, farklı iletişim kanallarıyla görüşülen uzmanların fikirlerini değerlendirerek analiz etmeye yardımcı olur (Gumus, 2009). Yöntemin adımları aşağıdaki gibidir.

- Adım 1. Görüşleri alınacak uzmanların belirlenmesi,
- Adım 2. Anketin uzmanlara ilk kez uygulanması,
- Adım 3. Anketin uzmanlara ikinci kez uygulanması,
- Adım 4. Anketin uzmanlara üçüncü kez uygulanması,
- Adım 5. Uzman görüşlerinin birleştirilmesiyle uzlaşmanın sağlanması.

## 2.3. Pisagor Bulanık Sayılar

İnsanlar karar vermenin karmaşıklığı ve belirsizliği nedeniyle fikirlerini pek çok problemde tam olarak ifade edemezler. Bu nedenle; bulanık teori ortaya çıkmış ve literatüre Zadeh (1965) tarafından kazandırılmıştır. Teori, karar verme problemlerinin değerlendirme süreçlerinde öznel yargılama ve nitel değerlendirme için uygundur. Görüşlerin, dilsel olarak ifade edilebilmesine dayanan bu yaklaşım, bilgedeki belirsizliği çözmek için etkili bir yöntemdir (Wang vd., 2015).

Sezgisel bulanık kümelerin belirsizliği tam anlamıyla ifade edememesinden dolayı Pisagor bulanık kümeleri Yager (2013) tarafından ortaya atılmış ve bazı durumlarda sezgisel bulanık kümelere genelleme olarak geliştirilmiştir (Gul ve Ak, 2018). Pisagor bulanık kümelere ilgili bazı önemli tanımlar aşağıda verilmiştir (Karasan vd. 2018).

Tanım 1: Bir Pisagor bulanık kümesi  $\tilde{P}$  Eşitlik 1'deki gibi gösterilir (Yüceşan ve Kahraman, 2019):

$$\tilde{P} \cong \{x, \tilde{P}(\mu_{\tilde{P}}(x), v_{\tilde{P}}(x)); x \in X\} \quad (1)$$

$\mu_{\tilde{P}}(x): X \mapsto [0,1]$  ve  $v_{\tilde{P}}(x): X \mapsto [0,1]$   $x \in X$  in  $\tilde{P}$  kümesine sırasıyla üye olma ve üye olmama derecesini ifade eder ve kareleri toplamı Eşitlik 2'de gösterildiği gibi 1'i geçemez.

$$0 \leq \mu_{\tilde{P}}(x)^2 + v_{\tilde{P}}(x)^2 \leq 1; x \in X \quad (2)$$

Tereddüt derecesi Eşitlik 3 kullanılarak hesaplanır.

$$\pi_{\tilde{P}}(x) = \sqrt{1 - \mu_{\tilde{P}}(x)^2 - v_{\tilde{P}}(x)^2} \quad (3)$$

Pisagor bulanık kümelere temel işlemler Tanım 2'de yer alan Eşitlik 4-7'de gösterilmiştir.

**Tanım 2:**  $\beta_1 = P(\mu_{\beta_1}, v_{\beta_1})$  ve  $\beta_2 = P(\mu_{\beta_2}, v_{\beta_2})$  iki Pisagor bulanık sayı olmak üzere işlemler aşağıdaki gibidir (Gul ve Ak, 2018; Mohagheghi vd., 2017):

$$\beta_1 \oplus \beta_2 = \tilde{P} \left( \sqrt{\mu_{\beta_1}^2 + \mu_{\beta_2}^2 - \mu_{\beta_1}^2 \mu_{\beta_2}^2}, v_{\beta_1} v_{\beta_2} \right) \quad (4)$$

$$\beta_1 \otimes \beta_2 = \tilde{P} \left( \mu_{\beta_1} \mu_{\beta_2}, \sqrt{v_{\beta_1}^2 + v_{\beta_2}^2 - v_{\beta_1}^2 v_{\beta_2}^2} \right) \quad (5)$$

$$\beta_1 \ominus \beta_2 = \tilde{P} \left( \sqrt{\frac{\mu_{\beta_1}^2 - \mu_{\beta_2}^2}{1 - \mu_{\beta_2}^2}, \frac{v_{\beta_1}}{v_{\beta_2}}} \right), \text{ eğer } \mu_{\beta_1} \geq \mu_{\beta_2}, v_{\beta_1} \leq \min \left\{ v_{\beta_2}, \frac{v_{\beta_2} \cdot \pi_{\beta_1}}{\pi_{\beta_2}} \right\} \quad (6)$$

$$\frac{\beta_1}{\beta_2} = \tilde{P} \left( \frac{\mu_{\beta_1}}{\mu_{\beta_2}} \sqrt{\frac{v_{\beta_1}^2 - v_{\beta_2}^2}{1 - v_{\beta_2}^2}} \right), \text{ eğer } \mu_{\beta_1} \leq \min \left\{ \mu_{\beta_2}, \frac{\mu_{\beta_2} \cdot \pi_{\beta_1}}{\pi_{\beta_2}} \right\}, v_{\beta_1} \geq v_{\beta_2} \quad (7)$$

## 2.4. Pisagor Bulanık AHP

Belirlenmiş kriterleri dikkate alarak alternatiflerin ikili karşılaştırılması esasına dayanan çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan AHP (Çavdur, vd. 2019) yönteminde objektif ve sübjektif kriterlerin kıyaslanması yapılabilir (Yerlikaya ve Arıkan, 2016). Yöntem karar vericilerin kararlarında tutarlı olmasını sağlarken, aynı zamanda basit ikili kıyaslamalarla karar vericilerin işini kolaylaştırır (Ecer, vd. 2018). AHP yöntemi, uzmanlardan bilgi alsa bile, insanın düşünce tarzını tam olarak yansıtmamaktadır. Bu nedenle, AHP ile bulanık mantık birleştirilerek Bulanık AHP ortaya çıkmıştır. Geleneksel AHP yönteminden farklı olarak net değerlerin

yerine, Bulanık AHP yönteminde karşılaştırma oranları bir dizi değer kullanılarak belirlenir (Liu ve Jin, 2012). Pisagor bulanık kümeleri, belirsizliği ortadan kaldırmak için AHP yöntemine entegre edilebilir. Pisagor Bulanık AHP yönteminin adımları aşağıdaki gibidir.

**Adım 1:** Dilsel değişkenlere dayalı ikili karşılaştırma matrisi  $A = (a_{ij})_{m \times m}$  oluşturulur.

**Adım 2:** Eşitlik 8 ve Eşitlik 9 kullanılarak farklar matrisi  $D = (d_{ij})_{m \times m}$  oluşturulur.

$$d_{ij_L} = \mu_{ij_L}^2 - v_{ij_L}^2 \quad (8)$$

$$d_{ij_U} = \mu_{ij_U}^2 - v_{ij_U}^2 \quad (9)$$

**Adım 3:** Çarpımsal matris  $S = (s_{ij})_{m \times m}$  Eşitlik 10 ve Eşitlik 11 kullanılarak hesaplanır.

$$s_{ij_L} = \sqrt{1000^{d_{ij_L}}} \quad (10)$$

$$s_{ij_U} = \sqrt{1000^{d_{ij_U}}} \quad (11)$$

**Adım 4:** Tereddüt dereceleri  $H = (h_{ij})_{m \times m}$  Eşitlik 12 kullanılarak belirlenir.

$$h_{ij} = 1 - (\mu_{ij_U}^2 - \mu_{ij_L}^2) - (v_{ij_U}^2 - v_{ij_L}^2) \quad (12)$$

**Adım 5:** Normalize edilmemiş ağırlıklar  $T = (t_{ij})_{m \times m}$  Eşitlik 13 yardımıyla hesaplanır.

$$t_{ij} = \left( \frac{s_{ij_L} + s_{ij_U}}{2} \right) h_{ij} \quad (13)$$

**Adım 6:** Kriter ağırlıkları  $w_i$  Eşitlik 14 kullanılarak belirlenir.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^m t_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m t_{ij}} \quad (14)$$

## 2.4. TOPSIS

Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilmiş ve literatüre kazandırılan TOPSIS yöntemi karar verme problemlerinde sağladığı kolaylık açısından çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. Alternatifler içerisinde yapılacak seçimin temelinde ideal çözüme yakınlık ve ideal olmayan çözüme uzaklık yer almaktadır (Yalçınkaya, vd. 2018). Yöntem basit ve anlaşılabilir olmakla beraber iyi bir hesaplama etkinliğine sahiptir (Oruç ve Kılınç, 2019). Yöntemin temel adımları aşağıdaki gibidir (Alizadeh vd. 2016).

**Adım 1:** Karar matrisi  $A = (a_{ij})_{n \times m}$  oluşturulur.  $n$  alternatif sayısını  $m$  kriter sayısını göstermektedir.

**Adım 2:** Karar matrisi Eşitlik 15 kullanılarak normalize edilir.

$$\frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad (15)$$

**Adım 3:** Ağırlıklandırılmış normalize matris  $V = (v_{ij})_{n \times m}$  Eşitlik 16 kullanılarak oluşturulur.

$$v_{ij} = w_j a_{ij} \quad (16)$$

**Adım 4:** Pozitif ve negatif ideal çözüm değerleri elde edilir.

Ağırlıklandırılmış normalize matris elde edildikten sonra, her bir sütunun en iyi değeri problem yapısı dikkate alınarak belirlenir. Eğer kriter, fayda kriteri ise her sütunun maksimum değeri belirlenirken, maliyet kriterlerinde ise minimum değer dikkate alınır. En iyi değerler artık pozitif ideal çözüm değerleri olarak adlandırılırlar ( $v_j^+$ ). Daha sonra da her bir sütun için en kötü değerler belirlenir. En kötü değerler ise artık negatif ideal çözüm olarak adlandırılırlar ( $v_j^-$ ).

**Adım 5:** Pozitif ideal çözüm değerine uzaklık Eşitlik 17, negatif ideal çözüm değerine uzaklık ise Eşitlik 18 kullanılarak belirlenir.

$$S^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (17)$$

$$S^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (18)$$

**Adım 6:** İdeal çözüme göre yakınlık Eşitlik 19 kullanılarak hesaplanır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad (19)$$

**Adım 7:** Alternatifler  $C_i^*$  değerine göre büyükten küçüğe sıralanır. En büyük değere sahip alternatif, en iyi seçimdir.

### 3. Uygulama

Çalışmada ülkelerin yaşam kalitesinin belirlenmesinde etkili olduğu düşünülen dokuz farklı kriterin belirlenmesinin ardından, uzmanlarla görüşmeler yapılarak fikirleri toplanmıştır. Uzmanlar seçilirken farklı alanlarda ve farklı tecrübe seviyelerinde olmasına dikkat edilmiştir. Devamında, uzmanların kriterler hakkında kıyaslamalarını yaptıkları ikili kıyaslama matrisleri Modifiye Delphi yöntemi ile konsolide edilerek tek bir matrise indirgenmiştir. Elde edilen karar matrisi, Pisagor Bulanık AHP yöntemi ile değerlendirilerek her bir kriterin ağırlığı belirlenmiştir. Kriter ağırlıklarının elde edilmesinin ardından, otuz bir AB üyesi ülke TOPSIS yöntemi kullanılarak, yaşam kalitesine göre sıralanmıştır.

#### 3.1. Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Ülkelerin yaşam kalitelerini değerlendirmek üzere ele alınan her bir kriterin önemi, Pisagor Bulanık AHP yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Farklı alanlardan dokuz farklı uzmanın bu kriterler hakkındaki görüşleri yüz yüze görüşmeler yapılarak toplanmıştır. Uzmanların kriter kıyaslamaları daha sonra Modifiye Delphi yöntemi yardımıyla konsolide edilerek ikili kıyaslamalar tek matrise indirgenerek yapılmıştır. Uzmanların ana kriterler hakkındaki sözlü ifadelerini bulanık sayı olarak ifade edebilmek için Tablo 1'de gösterilen on puanlık ölçek (Ak ve Gül, 2019) kullanılmıştır.

Tablo 1. Dilsel değişkenlerin tanımı ve Pisagor bulanık ölçekleri

Dilsel Değişken	Aralıklı Pisagor Bulanık Sayılar			
	$\mu_L$	$\mu_U$	$v_L$	$v_U$
Kesinlikle Düşük Önemli (KD)	0.0	0.0	0.9	1.0
Çok Düşük Önemli (ÇD)	0.1	0.2	0.8	0.9
Düşük Önemli (D)	0.2	0.35	0.65	0.8
Ortalamanın Altında Önemli (OA)	0.35	0.45	0.55	0.65
Eşit (E)	0.1965	0.1965	0.1965	0.1965
Ortalama Önemli (O)	0.45	0.55	0.45	0.55
Ortalamanın Üstünde Önemli (OÜ)	0.55	0.65	0.35	0.45
Yüksek Önemli (Y)	0.65	0.8	0.2	0.35
Çok Yüksek Önemli (ÇY)	0.8	0.9	0.1	0.2
Kesinlikle Yüksek Önemli (KY)	0.9	1.0	0.0	0.0

Kriterlerin ikili karşılaştırmaları dilsel değişkenler kullanılarak çalışmaya katılan uzmanlar tarafından Modifiye Delphi yöntemi ile oluşturulmuştur. Kriterlerin ikili kıyaslamalar matrisi Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2. Kriterlerin ikili kıyaslama matrisi

	Maddi Yaşam Koşulları	Barınma	Çalışma Durumu	Eğitim	Sağlık	Sosyal İlişkiler	Güvenlik	Yönetim	Çevre
Maddi Yaşam Koşulları	E	E	OÜ	E	D	OÜ	D	OA	E
Barınma	E	E	OÜ	OA	D	O	D	OA	OA
Çalışma Durumu	OA	OA	E	D	ÇD	E	ÇD	D	D
Eğitim	E	O	Y	E	D	OÜ	OA	OA	OA
Sağlık	Y	Y	ÇY	Y	E	ÇY	O	OÜ	OÜ
Sosyal İlişkiler	OA	OA	E	OA	ÇD	E	D	OÜ	D
Güvenlik	Y	Y	ÇY	OÜ	OA	Y	E	O	OÜ
Yönetim	OÜ	OÜ	Y	OÜ	OA	Y	E	E	E
Çevre	O	OÜ	Y	O	OA	Y	OA	E	E

Tablo 2’de yer alan ikili kıyaslamalar matrisinde yer alan değerler Pisagor Bulanık AHP yönteminde kullanılmış ve her bir kriterin ağırlığı Tablo 3’teki gibi elde edilmiştir.

Tablo 3. Kriter ağırlıkları

Kriterler	Kriter ağırlıkları
Maddi Yaşam Koşulları	0,065
Barınma	0,049
Çalışma Durumu	0,028
Eğitim	0,078
Sağlık	0,285
Sosyal İlişkiler	0,043
Güvenlik	0,212
Yönetim	0,129
Çevre	0,110

Çalışmada yer alan uzmanların görüşleri neticesinde, ülkelerin yaşam kalitesinin belirlenmesinde en önemli kriterler %28,5 önem derecesine sahip “Sağlık” kriteri ve %21,2 önem derecesine sahip “Güvenlik” kriteridir. Çalışmada ele alınan dokuz kriterden beş tanesi %10’un altında önem derecesine sahip iken, en düşük önem derecesine sahip kriter %2,8 ile “Çalışma Durumu” olarak tespit edilmiştir.

### 3.1. Ülkelerin Yaşam Kalitelerine Göre Sıralanması

Kriter ağırlıklarının belirlenmesinin ardından Avrupa Birliği’nde yer alan otuz bir ülke daha önceki bölümlerde anlatılan TOPSIS yöntemi kullanılarak sıralanmıştır. Yöntemde kriter ağırlıkları olarak Tablo 3’te verilen ağırlıklar kullanılmıştır. Belirlenen kriterler baz alınarak ülke değerleri için Avrupa Birliği’nin resmi istatistik sitesinde (URL-1) yer alan indeks değerleri kullanılmıştır. Otuz bir ülkenin TOPSIS yöntemiyle kullanılarak oluşturulan yaşam kalitesi sıralaması ve çalışma sonucunda elde edilen TOPSIS sonuç değerleri Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. Ülkelerin yaşam kalitelerine göre sıralaması

Sıralama	Ülke	Değer	Sıralama	Ülke	Değer
1	Norveç	0,926	17	Estonya	0,722
2	Danimarka	0,914	18	Fransa	0,708
3	İsviçre	0,911	19	Yunanistan	0,678
4	Finlandiya	0,910	20	Litvanya	0,673
5	İsveç	0,898	21	Polonya	0,667
6	Hollanda	0,877	22	Çekya	0,666
7	Avusturya	0,840	23	İtalya	0,664
8	İzlanda	0,839	24	Kıbrıs	0,664
9	İngiltere	0,799	25	Slovakya	0,650
10	Romanya	0,796	26	Letonya	0,649
11	Lüksemburg	0,768	27	İspanya	0,643
12	Malta	0,765	28	Hrvatistan	0,620
13	Belçika	0,764	29	Bulgaristan	0,592
14	Almanya	0,762	30	Slovenya	0,592
15	İrlanda	0,759	31	Portekiz	0,553
16	Macaristan	0,728			

Tablo 4 incelendiğinde, dört ülkenin 0,900’den yüksek değere sahip olmasından dolayı, yüksek yaşam kalitesi vadettiği söylenebilir. Ayrıca ele alınan ülkelerin genel olarak birbirlerine çok yakın değerlere sahip olduğu görülmektedir.

## 4. Bulgular

Ülkelerin yaşam kalitesi sonuçları incelendiğinde Norveç 0,926 değer ile ilk sırada, Danimarka ise 0,914 değer ile ikinci sırada yer almıştır. Bunun sebebi olarak, Norveç’in ele alınan dokuz kriterden “Yönetim” kriterinde en yüksek değere sahip olması ve diğer sekiz kriterde de oldukça yüksek değerlere sahip olması gösterilebilir. Danimarka ise “Maddi Yaşam Koşulları”, “Barınma”, “Çalışma Durumu” ve “Eğitim” kriterlerinde en yüksek değere sahip olmasına rağmen bu kriterlerin önem derecelerinin görece düşük olmasından dolayı ikinci sırada yer almıştır. Üçüncü sırada yer alan İsviçre ve dördüncü sırada yer alan Hollanda arasında çok küçük bir fark vardır. Her iki ülke “Sağlık” kriterinde en yüksek iki değere sahip iken, diğer tüm kriterlerde de ortalama üstü değerlere sahiptir.



Diğer ülkelere nazaran yüksek yaşam kalitesi skorlarına sahip bu dört ülkenin, çalışmada kullanılan yöntem doğrultusunda, en iyi yaşam kalitesine sahip ülkeler olduğu belirlenmiştir. Bu durumun sağlanmasında, belirlenen dokuz kriterin sekiz tanesinde ilgili ülkelerin en yüksek değerlere sahip olması ve diğer tüm kriterlerde ortalamasının üstünde değerlere sahip olması önemli rol oynamıştır. Bu da önerilen yöntemin etkin sonuçlar vermesi anlamında önemlidir.

Sıralamada ilk sekiz ülkeye odaklanıldığı takdirde, tüm ülkelerin Avrupa'nın kuzeyinde yer aldığı görülmektedir. Buradan Avrupa'nın kuzey bölgelerinde yaşam kalitesinin daha yüksek olduğu anlamı çıkarılabilir. Çalışmada son sırada ise Portekiz yer almıştır. Bu duruma sebebiyet veren kriterler "Sağlık" ve "Çevre" kriterleri olarak görülmektedir. Uzmanların en çok önemseydiği "Sağlık" kriterinde düşük değere sahip olması, Portekiz'in son sırada yer almasının temel sebebi olarak gösterilebilir. Çalışma sonucunda elde edilen bu değerler, yaşam kalitesi bakımından yetersiz olarak görülen ülkeler için odaklanılması gereken noktalara yol gösterici olabilir.

## 5. Sonuç

Çalışmada ülkelerin yaşam kalitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç dahilinde yaşam kalitesini etkileyen kriterleri belirlemek için ilk olarak Avrupa Birliği'nin yayınladığı kriterler dikkate alınmıştır. Devamında literatür taraması yapılmış ve konu hakkında tecrübeli uzmanlardan geri dönüşler alınarak kriterler belirlenmiştir. Uzmanların bu kriterler hakkındaki görüşleri yüz yüze görüşmeler yapılarak toplanmıştır. Bu görüşler Modifiye Delphi yöntemi ile konsolide edilmiş ve ele alınan her bir kriterin önemi, Pisagor Bulanık AHP yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Yöntem sonuçlarına göre en önemli kriter "Sağlık" olarak belirlenmiştir. Çalışmanın devamında Avrupa Birliği'nde yer alan otuz bir ülke TOPSIS yöntemi ile kıyaslanmış elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir.

Çalışmanın literatüre katkısı şu şekilde tanımlanabilir: (1) Pisagor Bulanık AHP yöntemi ülkelerin yaşam kalitesinin değerlendirmesine adapte edilmiştir; (2) Kriterler literatür taraması ve uzman görüşleriyle belirlenmiştir; (3) Modifiye Delphi yöntemiyle çok sayıda uzmanın görüşü birleştirilmiştir; (4) Ana kriterler Pisagor Bulanık AHP yöntemi ile ağırlıklandırılmış ve önem dereceleri belirlenmiştir; (5) Avrupa Birliği üyesi otuz bir ülke TOPSIS yöntemi kullanılarak yaşam kalitesine göre sıralanmıştır; (6) Yaşam kalitesini belirlemede önemli kriterler göre, ülkelerin geliştirmeleri gereken yönler belirlenmiştir.

Gelecek çalışmalar için ele alınan ülke sayısı artırılabilir, daha fazla kritere odaklanılabilir, alt kriterler genişletilerek çalışma için daha çok parametrenin dikkate alınması sağlanabilir. Kıyaslama açısından güçlü olması adına diğer bulanık karar verme yöntemleri veya sezgisel yöntemler probleme dahil edilebilir.

## Kaynakça

- Ayyıldız E., & Demirci, E. (2018). Türkiye'de Yer Alan Şehirlerin Yaşam Kalitelerinin Swara Entegreli Topsis Yöntemi İle Belirlenmesi. Pamukkale University Journal of Social Sciences Institute/Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, (30).
- Halvari, A. E. M., Halvari, H., & Deci, E. L. (2019). Dental anxiety, oral health-related quality of life, and general well-being: A self-determination theory perspective. Journal of Applied Social Psychology, 49(5), 295-306.
- Whoqol Group, (1998). Development of the World Health Organization WHOQOL-BREF quality of life assessment. Psychological medicine, 28(3), 551-558.
- Offringa, G., ve De Wet, G. (1996). A quality of life-based decision support model for the determination of water research priorities. Water SA, 22(4), 359-372.
- Jeon, C. M., Amekudzi, A. A., ve Guensler, R. L. (2010). Evaluating plan alternatives for transportation system sustainability: Atlanta metropolitan region. International Journal of Sustainable Transportation, 4(4), 227-247.
- Chen, T. (2011). Using hybrid MCDM model for enhancing the participation of teacher in recreational sports. Journal of Decision Systems, 20(1), 33-49.
- Mulliner, E., Smallbone, K., ve Malene, V. (2013). An assessment of sustainable housing affordability using a multiple criteria decision making method. Omega, 41(2), 270-279.
- Anand, A., Rufuss, D. D. W., Rajkumar, V., ve Suganthi, L. (2017). Evaluation of sustainability indicators in smart cities for India using MCDM approach. Energy Procedia, 141, 211-215.
- Devlin, N. J., Shah, K. K., Feng, Y., Mulhern, B., & van Hout, B. (2018). Valuing health-related quality of life: An EQ-5 D-5 L value set for England. Health economics, 27(1), 7-22.
- Silverberg, J. I., Gelfand, J. M., Margolis, D. J., Boguniewicz, M., Fonacier, L., Grayson, M. H., ... & Fuxench, Z. C. C. (2018). Patient burden and quality of life in atopic dermatitis in US adults: a population-based cross-sectional study. Annals of Allergy, Asthma & Immunology, 121(3), 340-347.
- Wann-Ming, W. (2019). Constructing urban dynamic transportation planning strategies for improving quality of life and urban sustainability under emerging growth management principles. Sustainable Cities and Society, 44, 275-290.
- Wong, P. C., Hsieh, Y. P., Ng, H. H., Kong, S. F., Chan, K. L., Au, T. Y. A., ... & Fung, X. C. (2019). Investigating the Self-Stigma and Quality of Life for Overweight/Obese Children in Hong Kong: a Preliminary Study. Child Indicators Research, 12(3), 1065-1082.
- Zarghami, E., Sharghi, A., Olfat, M., ve Kousaları, F. S. (2018). Using Multi-Criteria Decision-Making Method (MCDM) to Study Quality of Life Variables in the Design of Senior Residences in Iran. Ageing International, 43(3), 279-296.
- URL-1 [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Quality\\_of\\_life\\_indicators](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Quality_of_life_indicators)
- Gümüş, A. T. (2009). Evaluation of hazardous waste transportation firms by using a two step fuzzy-AHP and TOPSIS methodology. Expert systems with applications, 36(2), 4067-4074.
- Zadeh, L. A., (1965), Information and control, Fuzzy sets, 8(3), 338-353.
- Wang, J. Q., Peng, J. J., Zhang, H. Y., Liu, T., Chen, X. H., (2015), An uncertain linguistic multi-criteria group decision-making method based on a cloud model, Group Decision and Negotiation, 24(1), 171-192.

- Yager, R. R., (2013), Pythagorean membership grades in multicriteria decision making. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 22(4), 958-965.
- Gül, M., ve Ak, M. F. (2018). A comparative outline for quantifying risk ratings in occupational health and safety risk assessment. *Journal of cleaner production*, 196, 653-664.
- Karaşan, A., İlbahar, E., Çebî, S., ve Kahraman, C., (2018), A new risk assessment approach: Safety and Critical Effect Analysis (SCEA) and its extension with Pythagorean fuzzy sets, *Safety science*, 108, 173-187.
- Mohagheghi, V., Mousavi, S. M., ve Vahdani, B., (2017), Enhancing decision-making flexibility by introducing a new last aggregation evaluating approach based on multi-criteria group decision making and Pythagorean fuzzy sets. *Applied Soft Computing*, 61, 527-535.
- Çavdur, F., Sebatlı, A., Ve KÜÇÜK, M. K. , (2019), Öğrenci-proje takımı oluşturma problemi için grup-karar verme ve hedef programlama temelli çözüm yaklaşımı. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34(1), 505-521.
- Yerlikaya, M. A., ve Arıkan, F., (2016), KOBİ'lere sağlanan desteklerin performans etkinlik sıralarının Promethee ve Oreste yöntemleri ile belirlenmesi enmesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31(4), 1007-1016.
- Ecer, F., Kınay, A., Nasiboğlu, E., (2018). Ahp Yöntemi İle Engelli Bireye Sahip Ailelerin Standart Hayat Şartlarına Ulaşabilmeleri İçin Gerekli Finansal Desteğin Belirlenmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 5(3), 687-704.
- Liu, P. D., ve Jin, F., (2012), The trapezoid fuzzy linguistic Bonferroni mean operators and their application to multiple attribute decision making. *Scientia Iranica*, 19(6), 1947-1959.
- Hwang, C. L., ve YOON, K. (2012). *Multiple attribute decision making: methods and applications a state-of-the-art survey* (Vol. 186). Springer Science ve Business Media.
- Yalçinkaya, Y, Dulupçu, M, BaykuL, A. (2018). Topsis Yöntemi İle Organize Sanayi Bölgelerinin Yatırım Ortamının Değerlendirilmesi: İbbs Düzey 3 Üzerine Bir Uygulama. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 5 (1), 90-107.
- Oruç, K. O., ve Kılınc, M. (2019). Suriyeli Sığınmacılar için Uygun Ev Sahibi Ülkelerin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Belirlenmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 5(2), 223-244.
- Alızadeh, S., Rad, M. M. S., ve Bazzazi, A. A. (2016). Alunite processing method selection using the AHP and TOPSIS approaches under fuzzy environment. *International Journal of Mining Science and Technology*, 26(6), 1017-1023.
- Ak, M. F., ve Gül, M., (2019), AHP–TOPSIS integration extended with Pythagorean fuzzy sets for information security risk analysis. *Complex and Intelligent Systems*, 5(2), 113-126.



# A new Approach for Hybrid BCI speller based on P300 and SSVEP

Zeki Oralhan<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Nuh Naci Yazgan University, Faculty of Engineering, Department of Electrical Electronics Engineering, Turkey (ORCID: 0000-0003-2841-6115)

(First received 1 November 2019 and in final form 31 December 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.671521)

**ATIF/REFERENCE:** Oralhan, Z. (2019). A new Approach for Hybrid BCI speller based on P300 and SSVEP. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1392-1398.

## Abstract

P300 and steady state visual evoked potential (SSVEP) are type of electroencephalography (EEG) phenomena that widely used in brain computer interface (BCI) systems since both of them have high signal response and signal noise ratio. Classification accuracy rate of signal, and signal detection time affect overall performance of BCI systems. These both values are used for calculation information transfer rate (ITR) that is a key performance indicator for a BCI system. A P300 based BCI or a SSVEP based BCI have higher ITR values than other type of BCI systems. Thus, in this study our aim was to use together these both P300 and SSVEP phenomena in a BCI speller. We proposed a hybrid BCI speller based on P300 and SSVEP. Moreover, our proposed BCI speller interface allows to use only P300 stimuli, only SSVEP stimuli, or hybrid stimuli. In this BCI speller, there are numbers in  $3 \times 3$  matrix form for eliciting P300 signal and also 9 white square flickering objects were placed near numbers for eliciting SSVEP. In this research, experiments were performed in two stage (training and online stages) with three sessions (only SSVEP stimuli session, only P300 stimuli session, and hybrid session). Five subjects participated experiments. We used support vector machine method for detection of P300 signal and SSVEP. According to experiment results, average classification accuracy values were 83.78%, 84.67%, and 90.89% with using only SSVEP stimuli, only P300 stimuli, and hybrid stimuli, respectively. Furthermore, average information transfer rate values were 6.81, 6.97, and, 8.19 bit/min with using only SSVEP stimuli, only P300 stimuli, and hybrid stimuli, respectively. Results showed that the proposed hybrid BCI speller based on P300 and SSVEP reached higher classification accuracy and ITR values than using only SSVEP stimuli or only P300 stimuli based BCI spellers.

**Keywords:** EEG, Brain Computer Interface, Support Vector Machine, P300, SSVEP

## P300 ve DHGUP Tabanlı Hibrid BBA Heceleyicisi için Yeni bir Yaklaşım

### Öz

Hem P300 hem de durağan hal görsel uyarılmış potansiyel (DHGUP) yüksek sinyal yanıtı ve yüksek sinyal gürültü oranına sahip olduğu için beyin bilgisayar arayüzü (BBA) sistemlerinde yaygın olarak kullanılan elektroensefalografi (EEG) fenomenleridir. Sinyallerdeki sınıflandırma doğruluk oranı ve sinyal tespit süresi değerleri BBA sistemlerinin performansını etkiler. Bu iki değer bir BBA sistemi için anahtar performans göstergesi olan bilgi aktarım hızının (BAH) hesaplanması için kullanılır. Bir P300 tabanlı BBA veya DHGUP tabanlı BBA diğer BBA sistemlerine göre daha yüksek bilgi aktarım hızı değerine sahiptir. Bundan dolayı, bu çalışmadaki amacımız, P300 ve DHGUP fenomenini aynı anda bir BBA heceleyicisinde kullanmaktır. P300 ve DHGUP tabanlı yeni bir hibrid BBA heceleyicisini çalışmamız ile sunuyoruz. Ayrıca önerdiğimiz BBA heceleyicisi sadece P300 uyarılı veya sadece DHGUP ya da hibrid

\* Corresponding Author: Nuh Naci Yazgan University, Faculty of Engineering, Department of Electrical Electronics Engineering, Turkey, ORCID: 0000-0003-2841-6115, [zoralkan@nny.edu.tr](mailto:zoralkan@nny.edu.tr)

uyaralı çalışmada olanak vermektedir. Bu BBA heceleyicisinde  $3 \times 3$  matris formunda 9 sayı P300 sinyali elde etmek için vardır ve üstelik 9 adet beyaz kare şeklinde yanıp sönen objeler DHGUP elde etmek için sayıların yanına yerleştirilmiştir. Bu çalışmada, deneyler 2 adımda (eğitim ve çevirimçi adımlar) ve 3 oturumda (sadece DHGUP uyarı, sadece P300 uyarı ve hibrid uyarı oturumlar) gerçekleştirilmiştir. Beş farklı kullanıcı deneylere katılmıştır. P300 sinyali ve DHGUP tespiti için destek vektör makinesi metodu kullanılmıştır. Deney sonuçlarına göre ortalama sınıflandırma doğruluk oranı sırasıyla sadece DHGUP uyarı kullanarak %83.78, sadece P300 uyarı kullanarak %84.67 ve hibrid uyarı kullanarak %90.89' dur. Ortalama bilgi aktarım hızı sırasıyla DHGUP uyarı kullanarak 6.81, sadece P300 uyarı kullanarak 6.97 bit/dk ve hibrid uyarı kullanarak 8.19' dur. Elde edilen bulgulara göre, önerilen P300 ve DHGUP tabanlı BBA heceleyicisi, sadece DHGUP uyarı BBA ya da sadece P300 uyarı BBA heceleyicilerine göre daha yüksek sınıflandırma doğruluk oranına ve bilgi aktarım hızına ulaşmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** EEG, Beyin Bilgisayar Arayüzü, Destek Vektör Makinesi, P300, DHGUP.

## 1. Introduction

Brain-computer interface (BCI) systems provides a new alternative communication systems for both disabled people and healthy people (Chaudhary et al., 2016). The main point of using BCI doesn't require to use neuro-muscular system. BCIs rely on the magnetoencephalography (MEG), functional magnetic resonance (fMRI), near infrared spectroscopy (NIRS), and electroencephalogram (EEG) (Oralhan, 2019). The most suitable for real time application and practical way to measure brain signals is EEG. Moreover, EEG measurement is a non-invasive method. Thus, Most of BCIs are based on EEG measurement (Kauhanen et al., 2006). A BCI which is rely on EEG is named according to types of EEG signals used for system control. Steady-state visual evoked potential (SSVEP), event-related potential (ERP) such as P300, event-related synchronization/desynchronization (ERD/ERS), and slow cortical potentials are type of EEG phenomena that widely used in BCIs (Ramadan et al., 2017).

The SSVEP is a brain's response to visual stimulation which has higher frequency value of 3 Hz. The response has same frequency of visual stimulation as well as stimulation's harmonics. Structure of visual stimulus is flickering shape with a constant frequency. Previous researches shows that the flickering visual stimulus can be modulated at frequencies between 3 Hz and 80 Hz (İşcan & Nikulin, 2018). SSVEP occurs dominantly brain area of visual cortex. Maximum amplitude of SSVEP can be acquired from occipital region of brain. SSVEP is widely using in BCI applications, because it has high value signal response and signal to noise ratio (SNR) value (Marx et al., 2019). Moreover, it provides short training time for signal classification (Oralhan, 2019).

When a user of the SSVEP based BCI gazes to target visual stimulus, EEG data is acquired from occipital region of brain. When the BCI detects the brain signals with same frequency value of target visual stimulus or its harmonics, a BCI command can be produced. Thus, A target visual stimulus corresponds a command in a SSVEP based BCI. Sutter (1992) presented a BCI based on transient visual evoked potential that was named brain response interface in 1992. A user reached rate of communication 10 to 12 words in a minute with implanted electrodes. Information transfer rate (ITR) and classification accuracy have critical role to evaluate to a BCI's overall performance. After this research SSVEP based BCI systems became more popular. In recent years, there are many research for SSVEP based BCIs for improving overall performance. Researchers has been investigating types of SSVEP stimulator, signal processing and classification methods for reaching higher ITR values. Oralhan and Tokmaci (2016) researched about SSVEP stimulator structure which is about duty cycle and brightness variation of a stimulus with using Liquid Crystal Display (LCD). They showed that stimulus optimal brightness and duty cycle ratio. LCD refresh rate can be problem if a visual stimulus frequency cannot be fully divided to LCD refresh rate. Gao et al. (2003) used light emitting diode (LED) SSVEP stimulator with 48 BCI commands. Thus, a LED stimulator provides high range of visual stimulus frequency.

The P300 signal is one of most preferable type of EEG phenomena for a BCI application. The P300 signal is an endogenous signal type in EEG phenomena (Oralhan, 2019). That's mean is The P300 signal is not related to physical features of stimulus, it is a respond to stimulus. The P300 signal can be elicited when expected stimulus occurs around unexpected stimuli. It is important that expected (can be named as target) stimulus occurs rarely according to unexpected stimuli (Wang et al., 2016). The P300 signal is observed as a positive peak 300 ms after the expected stimulus occurs (Hoffman et al., 2008). The latency can be changed according to user, task, and stimulus type. Moreover, amplitude of P300 signal depends on the target's improbability (Halder et al., 2015). The P300 phenomena is used in BCI design as much as SSVEP based BCI applications. A P300 based BCI widely depends on oddball paradigm. According to oddball paradigm there are two types of stimuli that are target and standard. Standard stimuli occurs more frequently than target one. Moreover, stimuli can be chosen as voice, visual, or both visual and voice (Belitski et al., 2011). There are also other paradigms such as three stimulus and single stimulus which are used for eliciting P300 signal (Walsh et al., 2017). Sutton et al. (1965) presented P300 signal to literature for the first time with their research. After that time P300 signal helped to diagnosis some physiological disorders. In following years, The P300 signal has been a research subject to use it in control external devices. P300 based BCI design became popular research topic since the P300 signal has high signal response and less cognitive fatigue effect. Moreover, it provides higher ITR and classification accuracy rate. Farwell & Donchin (1988) introduced  $6 \times 6$  speller in matrix structure. It is called row-column or Farwell-Donchin (FD) P300 speller. Each row and column has 6 different characters. A user counts by him/herself how many times

his/her target flashes while each row or column is flashing randomly. The P300 based BCI system detects P300 signal in which row and column flashes. Hence, corresponded row and columns character is selected as target character. There are also other types P300 speller such as region, checkerboard phenomenon, and three dimensional based ones (Fazel-Rezai, R., & Ahmad, 2011).

In this research, we designed a BCI speller which based on P300 and SSVEP. Both signals are very useful for BCI application. Thus, our approach combine them in one speller. There are also some researches in literature with using P300 and SSVEP together. Yin et al. (2013) proved that hybrid BCI with using P300 and SSVEP could improve overall performance of a BCI application. They used flickering cells with six different frequencies in order to elicit SSVEP. They also used numbers in cells and each column or row intensifies randomly to elicit P300 signal. Li et al. (2013) investigated a different approach for P300 and SSVEP hybrid speller to control wheelchair. They used four group buttons image on graphical user interface (GUI). Their P300 speller paradigm was region based. This hybrid BCI controlled to wheelchair with high performance. Wang et al. (2015) suggested shape and color changing paradigm to elicit P300 speller for hybrid spellers with P300 and SSVEP. Panicker et al. proposed asynchronous BCI system with combining P300 and SSVEP. The control state detection was successfully performed with using SSVEP. Edlinger et al. (2011) also applied P300 and SSVEP hybrid paradigm with existing ones to control smart home environment. There is not sufficient research for P300 and SSVEP hybrid paradigm although the paradigm has high overall performance (Fazel-Rezai et al., 2013). In our new approach P300 and SSVEP paradigms combined with separated stimuli. Experiments were carried out with only P300, only SSVEP, and hybrid structured spellers. Our aim was to prove with enhanced hybrid speller to reach higher classification accuracy and ITR value. We reached higher performance with our approach hybrid speller. The main difference of our hybrid speller with other existing hybrid spellers that P300 and SSVEP were elicited from different stimuli in same speller.

## 2. Materials and Methods

Hybrid speller which based on P300 and SSVEP paradigm were presented in this research. Support vector machine method (SVM) were used for P300 and SSVEP detection.

Experiments were carried out in three sessions. P300 speller, SSVEP speller, and hybrid speller with P300 and SSVEP paradigm were used in sessions, respectively. Four male and one female subjects with  $20 \pm 2$  average age were participated experiments. Any of subject has chronic disorder. They also hadn't have an operation before. Moreover, subjects had normal or corrected sight.

### 2.1. BCI Speller Type

Our BCI speller was developed with using C# coding. In the speller there are numbers in  $3 \times 3$  matrix form. Also nine white square flickering objects were placed near numbers. The speller can be adjusted via settings menu as shown in Figure 1. It allows to work with only P300 stimuli, only SSVEP stimuli or hybrid stimuli. Furthermore, P300 inter stimulus interval time (ISI) and flickering objects' frequencies can be settled. ISI is a time indicator of between activating of two stimuli.

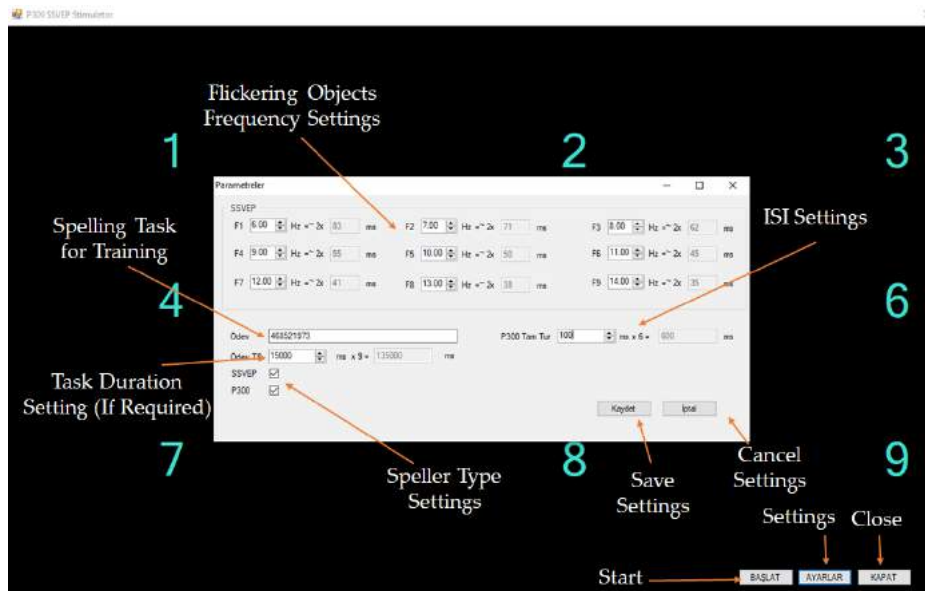


Figure 1. Proposed BCI Speller Settings Menu

When BCI speller is working as P300 speller only  $3 \times 3$  matrix is displaying on screen. Each row or column intensifies in a pseudorandom sequence. When BCI speller is working as SSVEP stimulator only 9 flickering white square objects are shown on screen. Our proposed hybrid BCI speller based on P300 and SSVEP is shown in Figure 2. The hybrid speller provides a user spell number from one to nine. In the hybrid speller an object and number which is nearer to the object is within the viewing angle of a user. Thus, when a user want to spell a number, he or she gazes to flickering object near the number. User intend to count how many times focused number is changed its color from light blue to dark blue (intensifying or flashing).



To use our proposed hybrid BCI speller is suitable both online and offline session of experimental procedures.

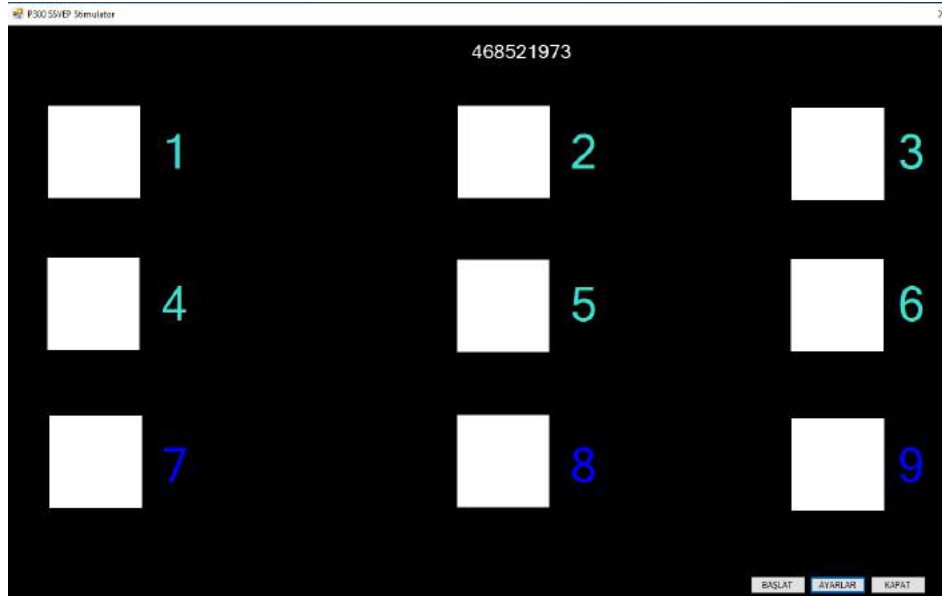


Figure 2. Proposed hybrid BCI speller graphical user interface

## 2.2. Experiment Data Collection

In experiments, The EEG data were recorded from the scalp with eight channels with reference placed at FPz-A1, Cz-A1, C3-A1, Pz-A1, P8-A1, Oz-A1, and O1-A1 according to international 10-20 EEG electrodes placement system. Ground channel place was between eyebrows that is named intercilium point. EEG data were sampled at 250 Hz with 50 Hz notch filter.

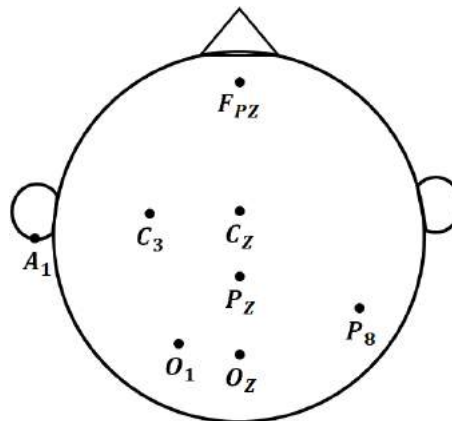


Figure 3. Proposed hybrid BCI speller graphical user interface

CleveMed BioRadio mobile EEG device with BioCapture software were used for acquiring EEG data. Great Lakes Neuro Tech. which is US manufacturer of the device.

## 2.3. Experimental Procedure

All experiments were carried out in a normal university office room in a day time. After environmental preparation of EEG recording, experiment participants were seated in a chair nearly 70 cm across from LCD monitor which had 60 Hz refresh rate with 1366x768 pixels resolution.

Experiments were performed in two stage with three sessions as shown in Figure 4. SSVEP stimulator mode of our BCI user interface was used in session-1. P300 speller mode was used in session-2. As a session-3, hybrid (SSVEP and P300) mode of BCI user interface was used. In training stage, each column or row intensified for 200 ms and when P300 speller was used in sessions. Also, after a stimulus intensified there was 100 ms ISI time as non-intensified duration. A sequence was defined when each column and row intensified. Thus a sequence was taken 1.8 seconds. 10 repeated sequences that named a trial was completed in sessions with P300 speller. Thus, a number selection duration was 18 seconds in training stage. Moreover, all subjects gazed to stimulus for 18 seconds in sessions with SSVEP stimulator in training stage. An Experiment subject was asked to spell “468521973” numbers sequence which consisted nine different numbers in training stage. In online stage of experiment “861973542” number sequence was desired to spell for 9 times by experiment subjects.

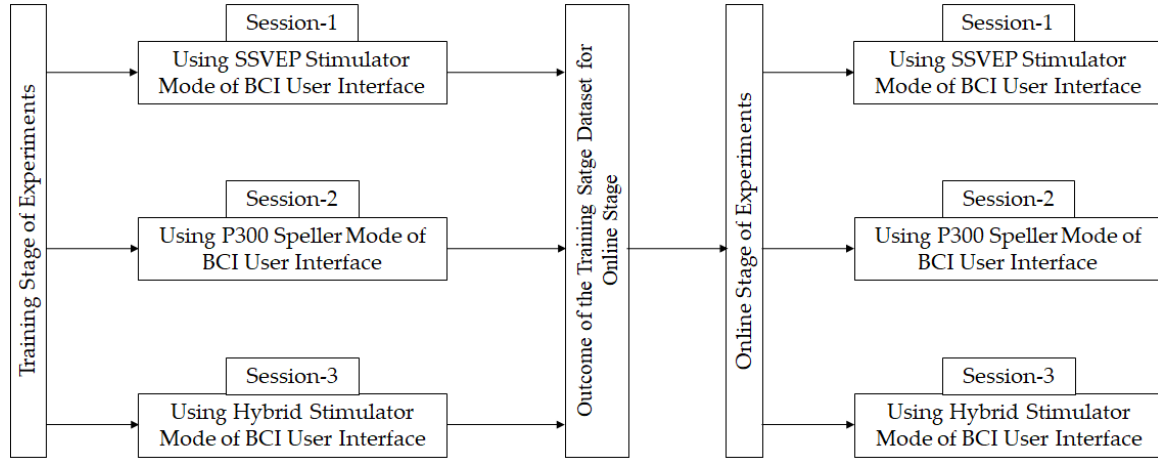


Figure 4. Experiment Steps

## 2.4. Data Analysis

In experiments we applied same data analysis in both online and training stages. We used support vector machine for P300 and SSVEP detection.

### 2.4.1. Support Vector Machine

In experiments EEG data, determining whether P300 or SSVEP existing or not is a binary classification problem. The problem with discriminant function can be defined as equation 1.

$$w \times x - b = 0 \quad (1)$$

Support vector machine (SVM) is used to determine hyper plane which maximizes separating line between the two classes. Thus, it is used for binary classification (Baverina et al., 2003).

Class labels were coded as  $y_i$ , equation 1 could be reformulated as equation 2.

$$y_i(w \times f(x_i) + b) + \eta_i \geq 1 \quad (2)$$

$\eta_i > 0$  denotes the margin distance from the points which classified improperly. The maximum margin can be minimized with  $2/\|w\|$  margin equaling in equation 3.

$$C \sum_{i=1}^l \eta_i + \frac{1}{2} \|w\|^2 \quad (3)$$

“C” and “l” denote the regularization parameter and number of training samples, respectively. Lagrangian multipliers can be used for the optimization problem. Equivalent maximizing was given in equation 4.

$$\begin{aligned} \max(\alpha) \left\{ \sum_{i=1}^l \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^l \alpha_i \alpha_j y_i y_j K(x_j x_i) \right\} \\ \text{s. t. } \alpha_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, l \\ \sum_{i=1}^l \alpha_i y_i = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

$K(x_j, x_i) = \Phi(x_j) \times \Phi(x_i)$  kernel function determines the non-linear transformation  $\Phi(x) = x$  for the linear case. Classification score of feature vector can be calculated as in equation 5 with using Lagrangian multipliers vector.

$$\text{score}_{SVM} = \sum_{i=1}^l \alpha_i y_i K(x_j, x) \quad (5)$$

The parameters of SVM were varied in order to each user, resulting in insignificant performance differences. So,  $C = 10$  was determined as the best given performance on training data.

### 2.4.2. Calculation of Overall Performance of BCI Spellers

Information transfer rate (ITR) is a key performance indicator for overall performance of a BCI speller. ITR can be formulated as in equation 6.

$$ITR = \frac{60}{T} \left[ \log_2 N + P \log_2 P + (1 - P) \log_2 \left[ \frac{1-P}{N-1} \right] \right] \quad (6)$$

According to equation 6 “P” denotes the EEG signal classification accuracy value, “N” denotes total number stimuli, and “T” denotes the number selection time by a BCI speller’s user.

## 3. Results

EEG data was analyzed according to SVM method. In online stage of experiment nine different words were spelled for nine times in a trial. As shown in Table 1 classification accuracy values were given according to using mode of BCI user interface in online stage of experiment.

Table 1. Classification accuracy values according to using mode of BCI user interface in online stage of experiment

Experiment Subjects	Classification Accuracy (%)		
	Only SSVEP Stimuli	Only P300 Stimuli	Hybrid (P300 and SSVEP) Stimuli
Subject-1	83.33	80	87.78
Subject-2	91.11	88.89	93.33
Subject-3	72.22	74.44	86.67
Subject-4	84.44	85.56	90
Subject-5	92.22	90	96.67
Average	84.67	83.78	90.89

According to Table 1, average classification accuracy values were 83.78%, 84.67%, and 90.89% with using SSVEP stimulator, P300 speller, and hybrid BCI speller, respectively. Moreover, subject-5 reached highest classification accuracy value as 96.67% with using hybrid BCI speller. The lowest classification accuracy value was 72.22% by subject-3 with using SSVEP stimulator mode of BCI speller.

Table 2 depicts the ITR values according to using mode of BCI user interface in online stage of experiment. Average ITR values were 6.81, 6.97, and, 8.19 with using SSVEP stimulator, P300 speller, and hybrid BCI speller, respectively. ITR is the significant indicator to show overall performance of a BCI speller. Thus, the proposed hybrid BCI speller has ITR value significantly higher than other modes of BCI speller.

Table 2. Information transfer rate values according to using mode of BCI user interface in online stage of experiment

Experiment Subjects	Information Transfer Rate (bit/min)		
	Only SSVEP Stimuli	Only P300 Stimuli	Hybrid (P300 and SSVEP) Stimuli
Subject-1	6.73	6.16	7.56
Subject-2	8.24	7.78	8.72
Subject-3	4.95	5.28	7.34
Subject-4	6.93	7.14	8.00
Subject-5	8.47	8.00	9.53
Average	6.97	6.81	8.19

## 4. Conclusion

This research proposed a novel hybrid BCI speller which designed with P300 and SSVEP stimuli. Moreover, the study investigated whether it is suitable to use hybrid BCI speller or not. Furthermore, the proposed hybrid BCI speller was compared with P300 speller and SSVEP stimulator. According to results, hybrid BCI speller had higher classification accuracy and ITR values than others.

We applied an Analysis of variance (ANOVA) to evaluate results. ANOVA showed that there were significant differences in ITR values and classification accuracy values between hybrid BCI speller and others. ( $p=0.05$ ).

In future studies, the proposed hybrid BCI speller can be enhanced as it consists more stimuli. Moreover, different SSVEP and P300 detection methods can be applied.

## References

- Beverina, F., Palmas, G., Silvoni, S., Piccione, F., & Giove, S. (2003). User adaptive BCIs: SSVEP and P300 based interfaces. *PsychNology Journal*, 1(4), 331-354.
- Belitski, A., Farquhar, J., & Desain, P. (2011). P300 audio-visual speller. *Journal of Neural Engineering*, 8(2), 025022.
- Chaudhary, U., Birbaumer, N., & Ramos-Murguialday, A. (2016). Brain-computer interfaces for communication and rehabilitation. *Nature Reviews Neurology*, 12(9), 513.
- Edlinger, G., Holzner, C., & Guger, C. (2011, July). A hybrid brain-computer interface for smart home control. In *International Conference on Human-Computer Interaction* (pp. 417-426). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Farwell, L. A., & Donchin, E. (1988). Talking off the top of your head: toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 70(6), 510-523.
- Fazel-Rezai, R., & Ahmad, W. (2011). P300-based brain-computer interface paradigm design. *Recent Advances in Brain-Computer Interface Systems*, 83-98.
- Fazel-Rezai, R., Amiri, S., Rabbi, A., & Azinfar, L. (2013). A Review of P300, SSVEP, and Hybrid P300/SSVEP Brain-Computer Interface Systems.
- Gao, X., Xu, D., Cheng, M., & Gao, S. (2003). A BCI-based environmental controller for the motion-disabled. *IEEE Transactions on neural systems and rehabilitation engineering*, 11(2), 137-140.
- Halder, S., Pinegger, A., Käthner, I., Wriessnegger, S. C., Faller, J., Antunes, J. B. P., & Kübler, A. (2015). Brain-controlled applications using dynamic P300 speller matrices. *Artificial intelligence in medicine*, 63(1), 7-17.
- Hoffmann, U., Vesin, J. M., Ebrahimi, T., & Diserens, K. (2008). An efficient P300-based brain-computer interface for disabled subjects. *Journal of Neuroscience methods*, 167(1), 115-125.
- İşcan, Z., & Nikulin, V. V. (2018). Steady state visual evoked potential (SSVEP) based brain-computer interface (BCI) performance under different perturbations. *PloS one*, 13(1), e0191673.
- Kauhanen, L., Nykopp, T., Lehtonen, J., Jylanki, P., Heikkonen, J., Rantanen, P., & Sams, M. (2006). EEG and MEG brain-computer interface for tetraplegic patients. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 14(2), 190-193.
- Li, Y., Pan, J., Wang, F., & Yu, Z. (2013). A hybrid BCI system combining P300 and SSVEP and its application to wheelchair control. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 60(11), 3156-3166.
- Marx, E., Benda, M., & Volosyak, I. (2019, October). Optimal Electrode Positions for an SSVEP-based BCI. In *2019 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC)* (pp. 2731-2736). IEEE.
- Oralhan, Z. (2019). 2 Stages-region-based P300 Speller in Brain-Computer Interface. *IETE Journal of Research*, 65(6), 740-748.
- Oralhan, Z. (2019). Advanced SSVEP stimulator for brain-computer interface and signal classification with using convolutional neural network. *Electronics Letters*, 55(25), 1329-1331.
- Oralhan, Z. (2019). A New Paradigm for Region-Based P300 Speller in Brain Computer Interface. *IEEE Access*, 7, 106618-106627.
- Oralhan, Z., & Tokmakçı, M. (2016). The Effect of Duty Cycle and Brightness Variation of Visual Stimuli on SSVEP in Brain Computer Interface Systems. *IETE Journal of Research*, 62(6), 795-803.
- Ramadan, R. A., & Vasilakos, A. V. (2017). Brain computer interface: control signals review. *Neurocomputing*, 223, 26-44.
- Sutter, E. E. (1992). The brain response interface: communication through visually-induced electrical brain responses. *Journal of Microcomputer Applications*, 15(1), 31-45.
- Sutton, S., Braren, M., Zubin, J., & John, E. R. (1965). Evoked-potential correlates of stimulus uncertainty. *Science*, 150(3700), 1187-1188.
- Walsh, M. M., Gunzelmann, G., & Anderson, J. R. (2017). Relationship of P3b single-trial latencies and response times in one, two, and three-stimulus oddball tasks. *Biological psychology*, 123, 47-61.
- Wang, H., Chang, W., & Zhang, C. (2016). Functional brain network and multichannel analysis for the P300-based brain computer interface system of lying detection. *Expert Systems with Applications*, 53, 117-128.
- Wang, M., Daly, I., Allison, B. Z., Jin, J., Zhang, Y., Chen, L., & Wang, X. (2015). A new hybrid BCI paradigm based on P300 and SSVEP. *Journal of neuroscience methods*, 244, 16-25.
- Yin, E., Zhou, Z., Jiang, J., Chen, F., Liu, Y., & Hu, D. (2013). A speedy hybrid BCI spelling approach combining P300 and SSVEP. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 61(2), 473-483.
- Yin, E., Zhou, Z., Jiang, J., Chen, F., Liu, Y., & Hu, D. (2013). A novel hybrid BCI speller based on the incorporation of SSVEP into the P300 paradigm. *Journal of neural engineering*, 10(2), 026012.